ARBEITEN

AUS DEM

PHYSIOLOGISCHEN LABORATORIUM

DER

WÜRZBURGER HOCHSCHULE.

HERAUSGEGEBEN

VON

A. FICK.

(Separat-Abdruck aus den Verhandl. der physik.-med. Gesellschaft in Würzburg. Neue Folge.)

IV. LIEFERUNG.

Mit 1 Tafel und 5 Xylographien.

WÜRZBURG.

DRUCK UND VERLAG DER STAHEL'SCHEN BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

1878.

Erscheint in zwanglosen Lieferungen.

INHALT.

Ueber die Abhängigkeit der Erregung von der Länge der elektrisch durchströmten Nervenstrecke.

Von

ABR. J. MARCUSE

aus Krottingen (Russland).

(Mit Tafel XV.)

Es ist eine längst bekannte, schon von den ersten Forschern auf dem Gebiete der elektrischen Reizversuche bemerkte Thatsache, dass der elektrische Strom um so leichter eine Zuckung des Muskels auslöst, eine je längere Strecke des damit verknüpften motorischen Nerven er durchfliesst. Mit Recht findet *Pflüger* [1]) diese Thatsache erstaunlich merkwürdig, „denn“ fährt jener Autor fort, „a priori sollte man doch glauben, dass der Zustand eines gegebenen Querschnittes des vom polarisirenden Strome unmittelbar betroffenen Nerven lediglich abhänge von der Stromdichte, welche in ihm herrsche, um so mehr, als weder der elektrische Strom, noch die Molekule der Nerven selber eine Wirkung in die Ferne auf Nervenmolekule ausüben.“

Von *du Bois Reymond* wurden noch zwei mit der in Rede stehenden auf's Engste zusammenhängende Thatsachen entdeckt. Erstens, dass *die negative Schwankung des Nervenstromes* um so stärker ausfällt, je länger die der elektrischen Reizung ausgesetzte Nervenstrecke ist. Diese Thatsache kann man gewissermassen als einen anderen Ausdruck der schon bekannten ansehen, wenn man in der negativen Schwankung des Nervenstromes eben nur eine andere Erscheinungsform des Vorganges im Nerven erkennt, welcher auch die Muskelzuckung verursacht.

Du Bois Reymond hat aber zweitens nachgewiesen, dass auch ein anderer Zustand der extrapolaren Nervenstrecke, welcher als Wirkung der elektrischen Durchströmung von ihm entdeckt worden war, nämlich *die elektrotonische Polarisation* um so intensiver auftritt, je länger bei gleicher Stromstärke die durchflossene Nervenstrecke ist.

---

[1]) Physiologie des Elektroton. S. 249.

Pflüger hat dann später gezeigt, dass auch in dieser Beziehung, wie in jeder anderen, voller Einklang herrscht zwischen den Erregbarkeitsänderungen und den elektromotorischenErscheinungen elektrotonisirter Nerven. Um es bestimmter auszudrücken, *Pflüger* zeigte: Der Reizbarkeitszuwachs, sei er positiv (im Katelektrotonus), sei er negativ (im Anelektrotonus) ist um so grösser, je länger bei gleichbleibender Stromstärke die durchflossene Nervenstrecke ist.

Wenn wir die *Pflüger*'sche Hypothese über die Entstehung der Erregungswelle annehmen, so haben wir in den soeben angeführten Thatsachen über die Abhängigkeit der Intensität des Elektrotonus von der durchflossenen Nervenstrecke die eigentlich fundamentalen vor Augen aus welchen sich der an die Spitze gestellte Satz über die Abhängigkeit *der Erregungsgrösse von der Länge der durchflossenen Nervenstrecke* logisch folgern liesse. In der That versteht es sich nach der *Pflüger*'schen Hypothese von selbst, dass die *Erregungswelle* beim Anfange eines Stromes durch Vergrösserung der intrapolaren Nervenstrecke verstärkt wird, wenn einmal erwiesen ist, dass der *Elektrotonus* dadurch verstärkt wird, denn in seiner Entstehung sieht ja jene Hypothese die Ursache der Erregungswelle beim Anfange des Stromes. Aehnliches wird von der Erregung zu Ende des Stromes gelten.

Wenn nun auch der Einfluss der Länge der durchflossenen Strecke auf den Elektrotonus eigentlich der ursprüngliche ist, so bietet er sich weniger leicht der quantitativen Untersuchung dar, als der Einfluss auf den Erregungsprocess, für welchen diese Untersuchung nicht allzu schwierig scheint.

Der Gewinn, welchen eine solche Untersuchung für die Einsicht in eine Grundeigenschaft der Nervenfaser bringt, dürfte überdies derselbe sein, als wenn man den Einfluss auf die elektrotonischen Wirkungen direkt untersucht.

Es ist daher gewiss auffallend, dass von den zahlreichen neueren Arbeiten auf dem Gebiete der elektrischen Nervenreizung nur *eine einzige*, meines Wissens, sich mit dieser Abhängigkeit der Erregung von der Länge der elektrisch durchströmten Nervenstrecke eingehender beschäftigt. Es ist dies eine Arbeit von *Willy*, aus dem Laboratorium *Hermanns in Zürich*, 1872, auf deren Ergebnisse alsbald näher einzugehen ist.

Der Grund der Vernachlässigung des in Rede stehenden interessanten Problems dürfte hauptsächlich in einer methodischen Schwierigkeit begründet sein. Offenbar hängt die Lösung der Aufgabe zunächst davon

ab, dass man es möglich macht, verschieden lange Strecken des Nerven in den Stromkreis aufzunehmen, ohne die Stärke des Stromes zu verändern, denn es handelt sich ja darum, zu ermitteln, wie die Erregung des Nerven von der Länge des durchströmten Stückes allein abhängt.

Nun ändert man aber durch Einführung einer längeren Nervenstrecke, bei der gewöhnlichen Anordnung elektrischer Reizversuche, den Widerstand der Leitung und somit, bei gleichen elektromotorischen Kräften, die Stromstärke. Diese Aenderung ist bei der Dünne und dem grossen spezifischen Widerstand des Nerven selbst dann nicht verschwindend, wenn noch sonst sehr beträchtliche Widerstände in der Leitung sind.

Durch einen sinnreichen Kunstgriff hat *Willy* die fragliche Schwierigkeit zu beseitigen gesucht. Er nimmt nämlich in die Leitung hintereinander stets zwei Nerven auf und verkürzt den einen allemal um ebensoviel, als er den andern verlängert, so dass der gesammte Widerstand unverändert bleibt.

Eine planmässige Untersuchung ganzer Reihen von Werthen der Nervenlänge hat übrigens *Willy* nicht durchgeführt; er vergleicht bei demselben Nerven immer nur zwei Längen miteinander. Hierbei kommt er zu einem bemerkenswerthen Ergebnisse, das mit den Angaben der älteren Forscher nicht ganz in Einklang zu bringen ist. Er fand nämlich, dass Verlängerung der elektrisch durchflossenen Nervenstrecke die Erregung begünstigt; wenn das reizende Moment ist Schliessung oder Oeffnung eines konstanten die Nervenstrecke *absteigend* durchfliessenden Stromes ist. Besteht dagegen das reizende Moment in Schliessung oder Oeffnung eines den Nerven *aufsteigend* durchfliessenden konstanten Stromes, so bedarf es zur Auslösung einer merklichen Zuckung eines um so stärkeren Stromes, je länger die durchflossene Strecke ist.

Da somit noch gar keine Untersuchung vorliegt, aus der hervorginge, nach welchem Gesetze mit zunehmender Länge der durchströmten Nervenstrecke die zum Hervorbringen einer minimen Zuckung erforderliche Stromstärke sich ändert, so habe ich *auf Veranlassung des Herrn Prof. Fick* eine derartige Untersuchung unternommen, bei welcher die vorerwähnte methodische Schwierigkeit in anderer Weise gehoben wurde, als es von *Willy* geschah. Ich habe nämlich dem Nerven den elektrischen Strom in wesentlich anderer Weise zugeführt als es gewöhnlich bei elektrischen Reizversuchen geschieht.

Als reizendes Moment habe ich überall in meinen Versuchen den Oeffnungsinduktionsschlag angewendet. Es scheint mir nämlich, dass durch

einen solchen die Erregungswelle am reinsten und ungestörtesten zu Stande kommt, da der überaus flüchtige Oeffnungsinduktionsschlag andere Modificationen des Nerven neben der Erregungswelle jedesfalls nur in sehr geringem Grade hervorbringt. Es werden daher meine Versuchsergebnisse mit denen *Willy's* nicht ohne Weiteres vergleichbar sein, da er als reizende Momente Schluss und Oeffnung eines den Nerven dauernd durchfliessenden Stromes angewendet hat. Dabei sind die Verhältnisse weniger einfach, denn der dauernd fliessende Strom kann schon während der Zeit, welche die Erregungswelle nöthig hat, eine ansehnliche Nervenstrecke zu durchmessen diese derart elektrotonisch modificiren, dass die Erregungswelle bei ihrer Fortpflanzung erhebliche Aenderungen ihrer Intensität erleiden kann. Auf diese Ueberlegung hat schon *Pflüger* die Erklärung der altbekannten Erscheinung des Ausbleibens der Schliessungszuckung bei starkem aufsteigendem Strome gegründet. Es ist daher sehr wohl möglich, dass die von *Willy* beobachtete Erscheinung ähnlich zu erklären ist, dass bei Schliessung des aufsteigenden Stromes ein um so stärkerer Strom zur Auslösung einer Zuckung erforderlich ist, je länger die durchflossene Nervenstrecke ist. Man könnte nämlich annehmen, dass bei der längern Nervenstrecke zwar die Erregungen an Ort und Stelle — an der Kathode — stärker ist, als bei gleichem Strome und kürzerer Nervenstrecke, dass aber diese Erregungswelle an den peripheren Enden des Nerven schwächer ankommt, als bei kürzerer Nervenstrecke, weil sie eben die längere im Anelektrotonus begriffene Strecke zu passiren hat Im Sinne dieser Erklärung wird man auch vermuthen dürfen, dass die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes, bei längerer Nervenstrecke, schon für einen geringeren Werth der Stromstärke ausbleiben müsse als bei kurzer Nervenstrecke.

Die ebenfalls von *Willy* beobachtete Erscheinung, dass auch der Entstehung der Oeffnungszuckung, bei aufsteigendem Strome, die Verlängerung der durchflossenen Strecke ungünstig ist, wüsste ich allerdings fürs erste nicht durch die *Pflüger*'schen Anschauungen mit der Annahme in Einklang zu bringen, dass überall die Erregung an Ort und Stelle durch Verlängerung der durchflossenen Strecke begünstigt wird.

Soviel dürfte aber sicher sein, dass man, wie schon angedeutet, bei Anwendung des Oeffnungsinductionschlages als Reiz, am ersten darauf zählen kann, in der Wirkung auf den Muskel ein annähernd richtiges Mass für die Intensität der Erregung an Ort und Stelle, wo sie ursprünglich entsteht, zu haben, und dass daher die Verwendung des Oeffnungsinduktionsschlages als Reiz bei allen Untersuchungen zu empfehlen ist,

wo es gilt die Gesetze zu finden, nach welchen die Grösse der Erregung von irgend welchen andern veränderlichen Grössen abhängt.

Ehe ich meine nach der neuen Methode ausgeführten Versuche selbst beschreibe, will ich kurz über einige Vorversuche berichten, die ich mehr zu meiner eigenen Orientirung nach der gewöhnlichen Methode der elektrischen Reizversuche angestellt habe. Der Anwendung unpolarisirbarer Elektroden glaubte ich mich dabei entschlagen zu können, da der Oeffnungsinduktionsschlag, der auch hier stets als Reiz benutzt ward, so gut wie keine Polarisation hinterlässt, und noch obendrein in meinen Versuchen, in weitaus der Mehrzahl der Fälle, dem Oeffnungsschlage alsbald ein in entgegengesetzter Richtung den Kreis durchfliessender Schliessungsschlag folgte, der die allfällig entstandene Polarisation aufheben musste. Es brauchte nämlich der Schliessungsschlag meistens nicht abgeblendet zu werden, da er doch keine reizende Wirkung hervorbrachte.

Die zu diesen Vorversuchen dienende Einrichtung war folgende: Neun dünne Kupferdrähte sind in bestimmter Entfernung einander parallel über einen 30 Mm. breiten Glasstreifen gespannt. Die durch Ueberspinnung von einander isolirten Fortsetzungen dieser Drähte tauchen in neun Quecksilbernäpfchen: mit denselben ein für allemal fest verbunden. Zwei Hacken von Kupferdraht, die mit den Enden der sekundären Rolle des Induktionsapparates durch Drahtverbindung zusammenhängen, können nach Willkür in die einzelnen Quecksilbernäpfe gebracht werden. Dadurch kann jeder der 9 Drähte mit jedem der beiden Pole der sekundären Spirale leicht und schnell in Verbindung gesetzt werden. Der auf seine Erregbarkeit zu prüfende Nerv des Galvanischen Froschpräparates wird quer über sämmtliche Elektroden gelegt; dadurch ist es möglich verschieden lange Stücke des Nerven von jeder Stromrichtung durchfliessen zu lassen.

Die 9 Elektroden sind 2, 2, 8, 8, 8, 8, 2, 2 Mm. von einander entfernt. Wenn man also den einen Kupferhaken im ersten Quecksilbernäpfchen stehen lässt und den zweiten, der Reihe nach, in das 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9., eintaucht, so hat man nacheinander Nervenstrecken von 2, 4, 12, 20, 28, 36, 38, 40 Millimeter Länge, die alle mit demselben Punkte anfangen in den Stromkreis eingeführt.

Der zu dem Nerven gehörige Schenkel ist auf einer Nadel aufgespiesst, die in den, mitten durchschnittenen Oberschenkelknochen eingestochen ist. Die Nadel ist an einem Stativ passend befestigt, so dass der Eintritt des Nerven in den Gastrocnemius dicht an der ersten Kupferelektrode liegt. An diesem Schenkel wird nun beobachtet, bei welcher

Rollenstellung zuerst der Oeffnungsinduktionsschlag eine Spur von Bewegung hervorbringt.

Die Zahl, durch welche in den nachstehend mitzutheilenden Versuchsergebnissen die Rollenstellung dargestellt ist bedeutet eigentlich die Stärke des Induktionsschlages bei der betreffenden Rollenstellung, natürlich eine bestimmte Stärke des primären Stromes und einen bestimmten Widerstand im secundären Kreise vorausgesetzt, es sind eben die Zahlen der Scala eines graduirten Schlitteninduktoriums, die von der primären Rolle nach dem Ende des Schlittens hin natürlich abnehmen. Der Widerstand im secundären Kreise ist nun, bei den gegenwärtig in Rede stehenden Versuchen, nicht durch eine ganze Versuchsreihe hindurch konstant, und wenn ich gleichwohl in den nachstehend angeführten Tabellen die betreffende Spalte mit dem Worte Stromstärke überschreibe, so ist dieses nicht ganz wörtlich zu nehmen. Wenn z. B. bei 2 Mm. langer Nervenstrecke die erste Bewegung des Schenkels auftritt für die Rollenstellung, bei welcher der Index auf 10 zeigt, und dann bei 4 Mm. langer Nervenstrecke für die Rollenstellung, bei welcher der Index auf 7 zeigt, so verhält sich die Stromstärke im zweiten Falle zu der im ersten Falle nicht genau, wie 7 zu 10; dies würde nur dann richtig sein, wenn in beiden Fällen derselbe Widerstand im secundären Kreise wäre. Nun ist aber in Wahrheit im zweiten Falle der Widerstand um 2 Mm. Nervenlänge grösser als im ersten, daher ist die Stromstärke im zweiten Falle merklich kleiner als 7, wenn wir die im ersten Falle wirksame Stromstärke gleich 10 setzen.

Nachstehend gebe ich einige Versuche dieser Art in tabellarischer Uebersicht. Die Ueberschriften der Spalten dürften für sich verständlich sein; doch sei noch ausdrücklich hervorgehoben: die Ueberschrift: „Periph. Ende fest“ bedeutet, dass die dem Muskel zunächst benachbarte Elektrode unverändert blieb und von Versuch zu Versuch eine immer weiter nach dem Centrum gelegene Elektrode mit dem andern Ende der secundären Rolle verbunden werde. „Centrales Ende fest“ bedeutet, dass die vom Muskel möglichst entfernte Elektrode ein für allemal mit dem einem Ende der sekundären Rolle verbunden war, während dann von Versuch zu Versuch eine immer dem Muskel näher gelegene Elektrode mit dem andern Ende der Rolle verbunden wurde.

Nerv über Kupfer-Elektroden.

Strom absteigend				Strom aufsteigend			
Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest		Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest	
Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke
2 Mm.	10,0	2 Mm.	7,6	2 Mm.	10,0	2 Mm.	7,6
4 „	7,0	4 „	5,6	4 „	8,0	4 „	9,3
12 „	8,0	12 „	8,8	12 „	16,0	12 „	5,5
20 „	9,0	20 „	15,0	20 „	20,0	20 „	6,2
28 „	15,0	28 „	20,0	28 „	24,0	28 „	10,0
36 „	15,0	36 „	19,0	36 „	29,0	36 „	15,0
40 „	22,0	40 „	22,0	40 „	30,0	40 „	20,0
2 Mm.	7,2	2 Mm.	8,0	2 Mm.	7,6	2 Mm.	11,0
4 „	7,2	4 „	6,1	4 „	7,3	4 „	12,0
12 „	7,2	12 „	7,0	12 „	4,6	12 „	7,0
20 „	13,0	20 „	6,0	20 „	5,8	20 „	10,0
28 „	10,0	28 „	8,5	28 „	5,2	28 „	10,0
36 „	12,0	36 „	10,0	36 „	9,0	36 „	12,0
38 „	11,0	38 „	12,0	38 „	8,0	38 „	11,0
— „	—	40 „	11,0	40 „	11,0	40 „	11,0

Nerv mit dem Rückenmarke verbunden.

4 Mm.	3,5	4 Mm.	23,0	4 Mm.	2,5	4 Mm.	18,0
12 „	5,4	12 „	13,0	12 „	4,1	12 „	48,0
20 „	4,3	20 „	5,0	20 „	2,8	20 „	26,0
28 „	4,9	28 „	8,0	28 „	9,5	28 „	51,0
36 „	5,7	36 „	10,0	36 „	18,0	36 „	43,0
40 „	13,0	40 „	14,0	40 „	45,0	40 „	50,0

Im Reizkreise sind 54000 S. E. Widerstand.

2 Mm.	4,8	2 Mm.	30,0	2 Mm.	4,6	2 Mm.	30,0
4 „	4,2	4 „	20,0	4 „	3,8	4 „	15,0
12 „	5,0	12 „	5,5	12 „	2,7	12 „	12,0
20 „	6,0	20 „	2,3	20 „	2,4	20 „	10,0
28 „	6,8	28 „	3,0	28 „	7,8	28 „	12,0
36 „	7,0	36 „	6,0	36 „	14,0	36 „	16,0
40 „	7,8	40 „	7,0	40 „	17,0	40 „	17,0

Zunächst zeigt sich, dass bei überall noch geringern Nervenlängen die Begünstigung der Erregung durch Verlängerung der Nervenstrecke so sehr überwiegt, dass trotz des grösseren Widerstandes schon bei weitern Rollenabständen die eben merkliche Zuckung eintritt. Ist das Nervenstück schon länger, so bringt eine weitere Verlängerung desselben keine erhebliche Begünstigung der Erregung mehr hervor, so dass dieselbe sogar durch die Vermehrung des Widerstandes überwogen werden kann, und das längere Nervenstück einen kleinern Rollenbestand — grössere Zahl der Stromstärkenskala — erfordern als das kürzere. Die der Reizung günstigste Länge unter den angegeben Widerstandsverhältnissen ist meist die von 20 Mm.

Die Stromrichtung hat auf diese Grunderscheinung keinen Einfluss Der allgemeine Gang bleibt stets der, dass bei allmähliger Verlängerung der Nervenstrecke der zu eben merklicher Zuckung erforderliche Rollenabstand zuerst zu- dann wieder abnimmt. In der Tabelle scheint es, als ob die erforderliche Stromstärke anfänglich ab- dann zunähme; doch ist dies eben nur scheinbar nach der oben erklärten Bedeutung der Spaltenüberschriften; die unter Stromstärke stehende Zahl bezeichnet eben bloss den Rollenabstand, und zwar einen um so grösseren, je kleiner sie ist. Die zur Auslösung einer eben merklichen Zuckung erforderliche Stromstärke nimmt wahrscheinlich in Wirklichkeit in diesen Versuchen bei Verlängerung der Nervenstrecke immer ab.

Ein nicht constanter, aber für die Mehrzahl der Versuche eintretender Unterschied in der Erregbarkeit ergibt sich für die Versuchsvariationen, wo das „centrale“ oder „periphere“ Ende festgenommen wurde. Dieselbe besteht darin, dass die eben merkliche Zuckungen auslösenden Stromstärken bei peripherem Ende fest für grösstes und kleinstes Nervenstück einen kleineren Unterschied zeigen als bei centralem Ende fest. Mit anderen Worten: Es ist vom peripheren, dem Muskel näheren Nervenende aus leichter mit geringerer Stromstärke eine eben merkliche Zuckung auszulösen als vom centralen Ende. Dies gilt für jede Stromrichtung. Auch ist diese Erscheinung unabhängig davon, ob der Hüftnerv noch mit dem Rückenmarke in Verbindung steht oder nicht; nur tritt sie für den nicht abgeschnittenen Nerven deutlicher hervor.

Am augenfälligsten ist dies Verhalten bei einer anderen Versuchsreihe, wo in den Reizkreis ein grosser Zinkvitriol-Widerstand eingeschaltet war, wo also der relative Widerstandszuwachs durch Verlängerung des gereizten Nervenstückes geringer war. Hier kehrt sich der Unterschied in den zur Hervorbringung eben merklicher Zuckungen nothwendigen Stromstärken zwischen den Anordnungen „centrales oder peripheres Ende fest“

sogar um. Am übersichtlichsten wird dies aus folgender Zusammenstellung werden:

Nerv über Kupfer-Elektroden.

Strom absteigend				Strom aufsteigend			
Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest		Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest	
Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke
2 Mm.	10,0	2 Mm.	7,6	2 Mm.	10,0	2 Mm.	7,6
40 „	22,0	40 „	22,0	40 „	30,0	40 „	20,0
2 Mm.	7,2	2 Mm.	8,0	2 Mm.	7,6	2 Mm.	11,0
38 „	11,0	40 „	11,0	40 „	11,0	40 „	11,0
Nerv mit dem Rückenmark verbunden.							
4 Mm.	3,5	4 Mm.	23,0	4 Mm.	2,5	4 Mm.	18,0
40 „	13,0	40 „	14,0	40 „	45,0	40 „	50,0
Im Reizkreise 54000 S. E.							
2 Mm.	4,8	2 Mm.	30,0	2 Mm.	4,6	2 Mm.	30,0
40 „	7,8	40 „	7,0	40 „	17,0	40 „	17,0

Noch einen Versuch mit Metallelektroden will ich besonders mittheilen. Hier wurde nur bei absteigendem Strom und fester Elektrode am peripherischen Nerventheile die kleinste „Stromstärke“ in dem vorhin definirten uneigentlichen Sinne aufgesucht, welche eben eine Zuckung auslöste, und zwar in einer Reihe, ohne dass ein sonstiger Widerstand im secundären Kreise war, und dann mit einem Widerstande von 54000 S. E. ausser dem Nerven:

ohne Widerstand		mit Widerstand	
Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke
2	4,0	2	9,5
4	3,8	4	9,0
12	6,0	12	12,0
20	8,0	20	13,0
28	9,0	28	17,0
36	12,0	36	19,0
40	14,0	40	20,0

Hier zeigt sich, wie zu erwarten war, dass bei grösserem Widerstande ausser dem Nerven die Verlängerung der Nervenstrecke über 4 Mm. hinaus *verhältnissmässig* keine so grosse Vermehrung der scheinbaren Stromstärke erfordert als bei geringerem Widerstand.

Ich komme nun zur Beschreibung der nach einer neuen Methode angestellten Versuche. Sie hat, wie oben schon angedeutet wurde, den Zweck, zu bewirken, dass die Stromstärke im Nerven gänzlich unabhängig ist vom Leitungswiderstand der durchflossenen Strecke und nur bedingt durch Umstände, über die man vollkommen Herr ist, so dass die Stromstärke, wenn man diese Umstände unverändert lässt, sich auch nicht ändert durch Einführung eines längeren, kürzern, dickeren oder dünneren Nervenstückes. Um diese möglich zu machen, wird dem Nerven der elektrische Strom in ganz anderer Weise zugeführt als gewöhnlich.

Der Nerv wird nämlich mit einem beliebigen Stücke seiner Länge eingelegt in eine $^1/_2$-procentige Kochsalzlösung, welche in einem sehr flachen, parallelepipedischen Troge enthalten ist. Der Trog misst im Lichten 150 Mm. Länge, 40 Mm. Breite und 3 Mm. Höhe. Der Boden und die langen Seitenwände sind von Glas, die kurzen Seitenwände von amalgamirtem Zink gebildet. Wenn man also diese beiden Zinkenden mit den Polen einer elektrischen Vorrichtung verbindet, so darf man darauf rechnen, dass die den lichten Raum des Troges erfüllende parallelepipedische Flüssigkeitsmasse von genau parallelen und überall gleich dichten Stromfäden durchzogen ist. Wir haben uns übrigens von der Richtigkeit dieser Voraussetzung in folgender Weise noch besonders überzeugt. Der Trog war mit $^1/_2$-procentiger Kochsalzlösung gefüllt, und es wurde ein Froschsartorius der Länge nach an verschiedenen Stellen eingelegt; überall gab er eine eben merkliche Zuckung, bei derselben Stellung einer secundären Induktorrolle, deren Enden mit den Zinkseiten des Troges verbunden waren.

Auf die untere Seite des gläsernen Bodens war Quadratpapier aufgeklebt, so dass man von oben her das Gitter der je ein Millimeter voneinander entfernten Linien sehen konnte. Wenn man in die $^1/_2$-procentige Kochsalzlösung, welche den Trog ausfüllt, einen Froschnerven einlegt, so wird derselbe sich der Elektrizität gegenüber verhalten, als wäre er selbst ein Theil der Lösung, da der Leitungswiderstand der Nervensubstanz von dem der $^1/_2$procentigen Kochsalzlösung nicht gar verschieden ist. Wäre aber auch ein sehr merklicher Unterschied dazwischen, so würde doch sicher ein der Länge nach eingetauchtes Nervenstück von immer gleich

dichten Stromfäden durchflossen, möchte dasselbe länger oder kürzer, dicker oder dünner sein; nur wäre eben die Dichtigkeit in dem Nervenstücke überall etwas grösser als in der Flüssigkeit, wenn die Nervenmasse besser, und etwas kleiner, wenn sie schlechter leitete als dieselbe.

Auf diese Art haben wir es also wirklich erreicht, die Stromdichtigkeit in einem Nervenstücke ganz unabhängig von seiner Länge und seiner Dicke zu machen. Wenn wir bei dieser Versuchsanordnung verschieden lange Nervenstrecken eintauchen und nun bei verschiedenen Rollenstellungen des graduirten Schlitteninduktors Schläge durch den Trog senden, so können wir sicher sein, dass die Zahlen der Scala wirklich der Stromdichte im Nervenstücke — sei dieses lang oder kurz — proportional sind.

Die Versuchsreihen wurden nun folgendergestalt ausgeführt. Ein Galvanisches Präparat wurde mittelst einer in den Oberschenkelknochen eingesteckten Stahlnadel an einem Stativ befestigt und der Fuss mit einer Fadenschlinge etwas in der Höhe gehalten; der Nerv hing herab und tauchte, von einer bestimmten Stelle an, in den beschriebenen, an demselben Stativ befestigten Troge. Um von einer bestimmten willkürlich veränderlichen Stelle den Rest der Nerven aus der Kochsalzlösung bequem wieder entfernen zu können, wurde in den Trog ein ganz kleines gläsernes Bänkchen an beliebiger Stelle aufgestellt und der Rest des Nerven auf dasselbe aufgelegt. Die Füsse des Bänkchens waren so dünn, dass sie sicher keine Störung in die Strömung durch die Flüssigkeit brachten. Das eingetauchte Nervenstück war stets möglichst genau parallel den langen Seiten des Troges. Seine Länge konnte durch Verschiebung des Bänkchens, sowie durch Höher- und Niedrigerstellen des Präparates und durch andere geeignete Handgriffe verändert werden. Gemessen wurde die eingetauchte Nervenlänge ganz unmittelbar an der unter dem Nerven sichtbaren Millimeterscala. In einigen Versuchsreihen wurde die dem Muskel nächst benachbarte Eintauchstelle unverändert gelassen und nacheinander immer mehr centralwärts gelegene Nervenstrecken neu eingetaucht und so die durchströmte Nervenstrecke von der Peripherie nach dem Centrum hin verlängert. In anderen Versuchsreihen wurden die dem centralen Ende nächste Eintauchstelle konstant beibehalten und die durchströmte Nervenstrecke dadurch verlängert, dass immer mehr peripherisch gelegene Nerventheile eingetaucht wurden.

Die Zinkenden des Troges wurden nnn mit den Enden der secundären Rolle eines graduirten Schlitteninduktors verbunden. In der primären Leitung desselben befand sich ein Quecksilberschlüssel, dessen Quecksilber-

oberfläche vor jedem neuen Schlusse mit einem Pinsel gereinigt wurde. Die secundäre Rolle wurde jedesmal zunächst so gestellt, dass der Oeffnungsschlag sicher keine merklich reizende Wirkung hatte, dann wurde bei successiv immer kleinern Rollenabständen wiederholt der primäre Kreis geöffnet, bis der Unterschenkel des Präparates beim Oeffnungsschlag eine eben merkliche Zuckung machte. Darauf, dass die erste merkliche Bewegung nicht immer an denselben Muskelgruppen auftrat, wurde nicht besonderes geachtet. War für eine bestimmte Nervenlänge die Rollenstellung ermittelt, bei welcher der Oeffnungsschlag eine eben merkliche Zuckung auslöste, so wurde die bëtreffende Stromstärke an der Scala abgelesen und notirt, dann die eingetauchte Nervenlänge verändert und für den neuen Werth derselben, abermals die Rollenstellung ermittelt bei welcher die erste eben merkliche Zuckung vom Oeffnungsschlage hergerufen wurde.

Die nachstehende Tabelle gibt die Ergebnisse von 4 vollständigen Versuchsreihen der beschriebenen Art übersichtlich zusammengestellt:

Nerv in Kochsalzlösung.

Stromabsteigend				Stromaufsteigend			
Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest		Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest	
Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke
2 Mm.	24,0	3 Mm.	12,0	2 Mm.	42,0	3 Mm.	9,0
5 „	11,0	5 „	5,5	5 „	20,0	5 „	7,0
10 „	6,5	10 „	3,7	10 „	11,0	10 „	3,5
20 „	5,4	20 „	2,6	20 „	6,5	20 „	2,4
30 „	4,6	30 „	3,6	30 „	5,0	30 „	2,6
40 „	4,0	40 „	4,1	40 „	3,0	40 „	2,5
50 „	4,3			45 „	1,5		
				55 „	1,5		

2 Mm.	20,0	2 Mm.	11,0	2 Mm.	40,0	2 Mm.	8,0
5 „	9,5	5 „	3,7	5 „	6,5	5 „	5,0
10 „	4.2	10 „	3,2	10 „	3,2	10 „	3,2
20 „	2,9	20 „	3,2	20 „	2,8	20 „	2,8
30 „	2,8	30 „	3,3	30 „	3,0	30 „	2,8
43 „	2,9			42 „	5,5		

Strom absteigend				Strom aufsteigend			
Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest		Peripher. Ende fest		Centr. Ende fest	
Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke	Nervenlänge	Stromstärke
2 Mm.	20,0	3 Mm.	7,8	2—3 Mm.	35,0	2 Mm.	16,0
5 „	14,0	5 „	8,8	4 „	21,0	5 „	5,7
10 „	7,0	10 „	3,9	9 „	9,0	10 „	4,1
20 „	5,5	20 „	3,1	20 „	5,0	20 „	2,9
30 „	5,5	30 „	4,1	30 „	4,5	30 „	2,7
40 „	4,5	40 „	4,1	40 „	2,8	40 „	2,6
50 „	5,3	50 „	4,6			50 „	2,5
2 Mm.	30,0	2 Mm.	7,5	2 Mm.	40,0	2 Mm.	20,0
5 „	12,0	5 „	4,4	5 „	15,0	5 „	7,7
10 „	6,2	10 „	3,2	10 „	6,0	10 „	3,7
20 „	4,0	20 „	3.8	20 „	4,5	20 „	2,4
30 „	3,9	30 „	4,6	30 „	3,7	30 „	2,2
40 „	3,9	40 „	4,8	40 „	2,0	40 „	2,7
50 „	3,9			50 „	1,5		
Nerv mit dem Rückenmarke verbunden.							
4 Mm.	6,9	4 Mm.	18,0	3 Mm.	10,0	4 Mm.	
8 „	4,2	8 „	13,0	6 „	8,8	9 „	16,0
10 „	3,8	12 „	9,6	9 „	5,5	13 „	11,0
15 „	3,3	18 „	7,0	12 „	4,4	16 „	8,3
17 „	3,3	20 „	6,6	15 „	4,2	19 „	8,2
26 „	3,4	30 „	5,5	19 „	5,3	22 „	7,4
29 „	3,6			26 „	7,8	29 „	7,5
							7,1

Ein Blick auf diese Tabellen überzeugt uns sofort, dass sich, wie zu erwarten war, bei dieser Versuchsweise die Begünstigung der Erregung durch Verlängerung der Nervenstrecke vollkommen rein darstellt, denn hier nimmt regelmässig die zur Auslösung einer eben merklichen Zuckung erforderliche Stromstärke stetig ab, wenn man die durchflossene Nervenstrecke von 2 Mm. bis 30, 40 oder sogar bis 55 Mm. verlängert, mag der Strom aufsteigend oder absteigend fliessen, mag man mit der Verlängerung des Nerven von einem zunächst dem peripherischen, oder von einem zunächst dem centralen Ende der Nerven gelegenen Punkte anfangen; mag endlich der Nerv mit dem Rückenmarke noch im Zusammen-

hange stehen, wie in der letzten Versuchsreihe oder nicht. In einigen Fällen nimmt allerdings die zur Auslösung einer merklichen Zuckung erforderliche Stromstärke bei den letzten Schritten der Nervenverlängerung wieder zu. Es wäre höchst merkwürdig, wenn wir in *dieser* Erscheinung das eigentlich gesetzliche Verhalten zu erblicken hätten, dass vielleicht in den Fällen, wo sie sich in der Versuchsreihe selbst nicht gezeigt hat, nur desshalb nicht zum Vorschein kam, weil die individuelle Beschaffenheit des Nerven keine ausreichend lange Strecke darbot, um bis zu dem Schritte der Verlängerung zu gelangen, bei welcher dieselbe den Erregungsprocess wieder benachtheiligt, statt ihn, wie bis dahin, zu begünstigen. Es wäre dies desswegen so überaus merkwürdig, weil bei nnsrer neuen Versuchsweise die kleinste merklich reizende Stromstärke bei einer längeren Nervenstrecke wirklich grösser wäre als bei einer kürzeren und nicht blos scheinbar, wie dies bei der gewöhnlichen Zuführung des Stromes zum Nerven durch Elektroden der Fall ist. So überraschend und unerklärlich aber auch das Verhalten des Nerven wäre, so bin ich doch geneigt, es für das eigentlich gesetzliche zu halten, denn wäre es durch zufällige Fehler bedingt, woran man bei der Kleinheit der Zunahme der Stromstärke in den meisten derartigen Fällen allerdings denken könnte, so wäre doch zu erwarten, dass eine ähnliche Unregelmässigkeit wohl auch an einer anderen Stelle der Versuchsreihe vorkomme, d. h., dass einmal mitten in der Versuchsreihe der längeren Nervenstrecke die grössere Stromstärke entspräche. Dies ist aber mit einer einzigen Ausnahme nie der Fall; wo sich überhaupt die kleinste reizend wirkende Stromstärke wieder hebt, so geschieht es stets nur bei den letzten Schritten der Verlängerung.

Die genauere Verfolgung irgend einer Zahlenreihe unserer Tabelle gestattet uns nun das Gesetz der Abhängigkeit der kleinsten wirksamen Stromstärke von der Länge der elektrisch durchströmten Nervenstreke bestimmt zu formuliren und auf folgenden Ausdruck zu bringen:

„Mit wachsender durchflossener Nervenstrecke nimmt die kleinste „merklich reizend wirkende Stromstärke anfangs rapid, dann immer „langsamer ab und scheint sich asymptotisch einem Grenzwerthe zu „nähern oder, — so müssen wir hinzufügen, — nach Ueberschreitung „eines Minimums wieder zu wachsen.“

Am anschaulichsten wird dieses Abhängigkeitsgesetz, wenn wir einige Versuchsreihen graphisch darstellen, indem wir die Nervenlängen (doppelt) als Abscissen und die zugehörigen Stromstärken in einem willkürlich gewählten Maasstabe als Ordinaten auftragen. So sind durch die Kreuzchen in der Figur die Versuchsdaten der ersten Reihe der dritten Spalte unserer

Tabelle dargestellt. — Jedes Centimeter Ordinatenhöhe bedeutet hier 3 Stromeinheiten und jedes Millimeter Abscissenlänge bedeutet 0,5 Mm. Nervenlänge. — Den Punkten schliesst sich die ausgezogene Curve gut an, die sich einem Grenzwerthe asymptotisch zu näheren scheint. Die Ringchen in der Fig. stellen die Data der dritten Versuchsreihe der ersten Spalte der obigen Tabelle dar. Hier bedeutet ein Centimeter Ordinatenhöhe zwei Einheiten der Stromstärke.

Diesen Versuchsdaten schliesst sich die punktirte Curve gut an, welche nach Ueberschreitung eines Minimumpunktes sich wieder von der Abscissenaxe entfernt.

Offenbar wäre es sehr wohl denkbar, dass die ausgezogene Kurve sich auch wieder von der Abscissenaxe entfernen würde, wenn noch weiter rechts gelegene Punkte hätten bestimmt werden können. An einen Versuch der Erklärung dieses ganzen Gebietes von Erscheinungen dürfte fürs erste wohl kaum zu denken sein.

Ein Blick auf die Tabellen fordert auf, noch einen Punkt zu beachten, der mit dem eigentlichen Gegenstande unserer Untersuchung allerdings nicht zusammenhängt. Vergleichen wir nämlich die Versuche mit kurzer Nervenstrecke (2 Mm. Nervenlänge), die am selben Nerven angestellt sind, einmal beim Ausgehen vom centralen und das andere Mal beim Ausgehen von dem peripherischen Theile, so haben wir zwei Versuche vor uns, die sich nur durch den Ort der Reizung unterscheiden, nicht aber durch die Länge der durchströmten Strecke. Es zeigt sich nun, dass bei den ersten 4 Versuchsreihen jedesmal die Reizung, bei geringerer Stromstärke merklich ist, wenn eine vom Muskel entfernte Stelle der Ort des Reizes ist. Dieses Verhalten kann im Sinne *Pflüger's* gedeutet werden, welcher bekanntlich behauptet hat, dass die Erregungswelle bei ihrer Fortpflanzung längs der Nervenfaser anschwillt. Man kann aber auch diese Erscheinung ansehen, als ein Zeichen dafür, dass die dem Schnitte des Nerven benachbarte Partie desselben reizbarer ist als die dem Muskel benachbarte. Dieser Auffassung ist namentlich eine Vergleichung mit der *fünften* Versuchsreihe günstig, in welcher, wie die Ueberschrift sagt, der Nerv noch mit dem Rückenmarke im Zusammenhange war. Hier nämlich zeigt sich das umgekehrte Verhalten. Z. B. erfordert (S. die beiden ersten Spalten) eine 4 Mm. lange Nervenstrecke in der Nähe des Muskels einen 6,9 Einheiten starken aufsteigenden Schlag zur merklichen Reizung, während eine eben so lange Nervenstrecke in der Nähe des centralen Endes einen beinahe dreimal so starken Schlag von 18 Einheiten erfordert.

Ich wollte indessen nur gelegentlich darauf aufmerksam gemacht haben, dass zufällig in unseren Versuchsreihen einiges Material zur Beur-

theilung der berührten noch immer nicht definitiv erledigten Streitfrage der Nervenphysiologie geboten ist. Keineswegs möchte ich behaupten, dass dies Material ausreicht, die definitive Entscheidung herbeizuführen.

Zum Schlusse will ich noch erwähnen, dass ich auch einen Versuch mit konstantem Strome angestellt habe, wobei auch die durchströmte Nervenstrecke verlängert wurde durch successives Eintauchen immer längerer Nervenstrecken in die Kochsalzlösung des beschriebenen Troges, dessen Zinkendflächen mit den Enden eines *Rheochords* verknüpft waren, welche andererseits mit den Polen einer Batterie aus 10 kleinen *Daniell*'schen Elementen in Verbindung standen. In dieser letzteren Leitung war ein Schlüssel angebracht zur Herstellung und Aufhebung des Stromes. Die Stärke des den Trog durchfliessenden Stromzweiges wurde in der üblichen Weise variirt durch Veränderung des Leitungswiderstandes in dem Rheochord. Es muss übrigens bemerkt werden, dass die Polarisation der Zinkflächen, welche den Strom der Kochsalzlösung des Troges zuführten, nicht beseitigt war, was hier bei langdauernden Strömen, die nicht in regelmässig wechselnder Richtung flossen, wohl hätte geschehen müssen, wenn man eigentlich massgebende Versuche hätte anstellen wollen. Da dies indessen nicht in meiner Absicht lag, sondern ich nur ganz gelegentlich einmal einen Versuch anstellen wollte, der mit den *Willy*'schen Versuchen wenigstens einigermassen vergleichbar wäre, so habe ich es mir erspart, umständliche Vorkehrungen zur Beseitigung der Polarisation zu treffen.

Die Ergebnisse meiner einen Versuchsreihe stimmten keineswegs mit denen von *Willy* überein. In den meinigen erforderte stets, sowohl bei aufsteigender, als auch bei absteigender Stromrichtung ein kürzeres Nervenstück einen stärkeren Strom zur Auslösung einer eben merklichen Schliessungszuckung. Wofern überall mit den mir zu Gebote stehenden Apparaten Oeffnungszuckungen zu erzielen waren, zeigten sie sich derselben Regel unterworfen.

Wie der scheinbare Widerspruch zwischen diesen Versuchen und denen *Willy's* zu erklären sein mag, wage ich keine Vermuthung, ob er an der Individualität des Nerven, oder an den doch immerhin merklichen Versuchsbedingungen liegt, muss ich unentschieden lassen.

Hier nehme ich noch Anlass, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. *A. Fick,* meinen innigsten Dank auszusprechen für die gütige Anleitung im Experimentiren sowohl, als auch für die bereitwillige Gewährung der freien Benützung des physiologischen Laboratoriums.

Schliesslich ermangele ich nicht, auch Herrn Priv.-Doc. Dr. *Kunkel* der mich in meiner Arbeit wesentlich unterstützte, besten Dank zu sagen.

Ueber den Ort der Reizung an schräg durchströmten Nervenstrecken.

Von

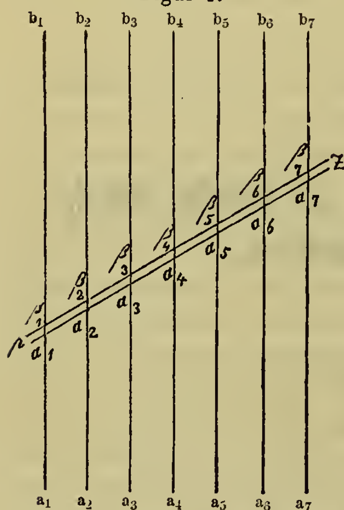
A. FICK.

(Mit zwei Holzschnitten.)

Im vorigen Frühjahr hat mein Neffe, Dr. *A. Eugen Fick,* in seiner Inauguralabhandlung Versuche bekannt gemacht über Erregung der Nerven mittels elektrischer Ströme, welche denselben schräg und quer durchfliessen. Es wurde dabei eine bis dahin nicht geübte Methode angewandt, indem der Nerv in ein Prisma von halbprocentiger Kochsalzlösung eingebettet wurde, welches seiner Länge nach von parallelen Stromfäden durchsetzt wurde. Die Versuche hatten den Zweck zu prüfen, ob wirklich die Abhängigkeit der Erregung von dem Winkel zwischen der Stromrichtung und der Nervenfaserrichtung dem von *du Bois-Reymond* vermuthungsweise ausgesprochen Gesetze folge, wonach von einem elektrischen Strome gleichsam nur eine in die Richtung der Nervenfaser fallende Komponente zur Wirksamkeit kommt. Die Ergebnisse dieser Versuche, die grossentheils unter meinen Augen angestellt wurden, waren so ausserordentlich regelmässig, dass ich die Ueberzeugung gewann, diese Methode könne auch noch zur Entscheidung mancher anderer Fragen mit Vortheil angewandt werden. So habe ich denn in der That noch den Dr. *Marcuse* veranlasst, dieselbe anzuwenden zu Versuchen über den Einfluss der Länge der durchströmten Nervenstrecke auf den Reizeffekt, deren Resultate *Marcuse* in seiner Inauguralabhandlung veröffentlicht hat. Sodann habe ich selbst mit Hülfe der gedachten Methode die Frage in Angriff genommen, an welcher Stelle einer schräg durchströmten Nervenfaser der Reizanstoss stattfindet.

Um die Bedeutung der Frage zu würdigen stellen wir uns eine motorische Nervenfaser in der Lage $p\ z$ (siehe Fig. 1) vor, an dem Ende p mag der Muskel liegen, so dass z das centrale Ende wäre. Die Nervenfaser sei eingebettet in eine prismatische Flüssigkeitsmasse von annähernd gleichem Leitungswiderstande und diese sei durchzogen von parallelen elektrischen Stromfäden in der Richtung der parallelen Striche unserer Figur. Dann wird die Nervenfaser selbst auch von solchen Stromfäden durchzogen sein. Sofern der Widerstand nicht in allen Theilen der Nervenfaser genau derselbe ist, sondern etwa die Marksubstanz schlechter leitet als der Axencylinder, werden die in die Nervenfaser fallenden Theile der Stromfäden vielleicht ein wenig gekrümmt werden, immerhin werden sie aber eine Schaar stetig aneinander liegender Curven gleicher Art bilden, die wohl auch nicht gar weit von geraden Linien in der Richtung der gezeichneten Striche abweichen dürften.

Figur 1.



Wir wollen nun untersuchen was in den beiden möglichen Fällen zu erwarten wäre, wenn nämlich einmal der Strom im Sinne von a nach b und das andere Mal im Sinne von b nach a die Leitermasse durchzieht. Fassen wir zunächst den zweiten Fall ins Auge. Sämmtliche Stromfäden werden auf der oberen Seite an den mit β_1, β_2 etc. bezeichneten Stellen in der Nervenfaser ein- und auf der unteren Seite an den mit α_1, α_2 etc. bezeichneten Stellen wieder austreten. Nun trifft nach der bekannten wohl begründeten *Pflüger*'schen Hypothese beim Entstehen des Stromes der Reizanstoss die Nervenfaser an der Kathoden- oder Austrittsstelle des positiven Stromes aus der Nervenfaser. Solche Austrittstellen oder Kathoden liegen aber in unserem Falle unendlich viele stetig aufeinander folgend an der unteren Seite der Faser (α_1, α_2 etc.) Wir müssten also annehmen, dass auf der ganzen eingetauchten Strecke in jedem Querschnitte ein Reizanstoss ausgeübt wird, wenn wir den Strom durch Schliessung des Kreises entstehen lassen. Von den durch diese gleichzeitigen Reizanstösse in Gang gesetzten Erregungswellen würde offenbar die in α_1 ihren Ursprung nehmende zuerst im Muskel bei p ankommen und eine Zuckung auslösen. Wenn es sich um maximale Zuckungen auslösende Reize handelt, würden die später eintreffenden Erregungswellen

nach den Untersuchungen von *Helmholtz* keine weitere Wirkung mehr hervorbringen, weil sie zu schnell auf die andern folgen, denn es folgten ja dieselben stetig aufeinander.

Betrachten wir nun den Fall, wo der Strom in dem Sinne von a nach b fliesst. Auch hier wäre wieder auf jedem Querschnitt des Nerven eine Stromaustrittsstelle zu finden, nämlich an den Orten die mit β_1, β_2 etc. bezeichnet sind. An allen diesen Stellen der ganzen oberen Seite der Nervenfaser entlang, hätte man also beim Entstehen des Stromes Reizanstösse zu erwarten. Von den durch diese unzähligen Reizanstösse verursachten Erregungsswellen kommt — so muss man weiter folgern — die bei β_1 ihren Ursprung nehmende zuerst am Muskel an und die übrigen bei β_2, β_3 etc. entstehenden folgen ihr stetig nach. Die bei β_1 entstandene wird aber auch merklich ebenso schnell am Muskel anlangen wie im anderen Falle die bei α_1 entstandene, wenigstens wenn der Winkel zwischen der Nervenfaser und der Stromrichtung merklich von Null verschieden ist, da alsdann der Punkt β_1 nur sehr wenig aufwärts von α_1 an der Nervenfaser liegt.

Man muss also nach der *Pflüger*'schen Vorstellung erwarten: Wenn ich einen Nerv durch die Entstehung eines ihn schräg durchziehenden elektrischen Stromes reize und die Zuckung des Muskels am zeitmessenden Myographion verzeichne, so tritt die Zuckung immer zur selben Zeit ein, mag der Strom den Nerven schräg aufwärts oder schräg abwärts durchziehen. Da ferner bekanntlich ein Oeffnungsinduktionsschlag, wenn er eine nicht gar zu grosse Intensität besitzt, gerade so wirkt, wie die Entstehung eines Stromes, das Wiederaufhören des Induktionsstromes aber ohne Reizwirkung bleibt, so müssten auch die Zuckungskurven bei Reizung mit entgegengesetzt gerichteten Induktionsschlägen einander decken, und so liegen wie die Zuckung, welche man erhält, wenn man den Reiz auf den am meisten peripherisch gelegenen Punkt der durchströmten Nervenstrecke beschränkt.

Ich habe nun myographisch untersucht, ob sich diese Folgerungen aus den *Pflüger*'schen Anschauungen wirklich bestätigen. Ehe ich indessen die einigermassen befremdlichen Ergebnisse dieser Untersuchung selbst mittheile, will ich einige Bemerkungen über die myographische Methode vorausschicken.

Für alle myographischen Untersuchungen, bei denen es auf die Bestimmung der zeitlichen Differenz des Entstehens zweier Zuckungen ankommt, ist es offenbar wünschenswerth, dass die Curve sich möglichst steil aus der Abscissenaxe erheben. Ich habe desshalb einen Schreibhebel von möglichst kleiner Masse angewendet, den ich mir in folgender

Weise hergestellt habe. An eine kleine zwischen Spitzen laufende stählerne Axe ist ein sehr leichtes und doch sehr festes Rähmchen aus doppelt zusammengeleimten Schilfstreifchen befestigt. Die eine Seite des Rähmchens ist durch ein ganz dünn geschabtes und somit leicht federndes Schilfstreifchen verlängert, an dessen freiem Ende eine ganz kurze Nähnadelspitze als Zeichenstift befestigt ist, und zwar steht die Spitze parallel mit der Axe des Rähmchens. Um die letztere, welche etwa 3 mm. Dicke hat, ist ein Faden so geschlungen, dass ein daran hängendes Gewicht von etwa 200 grm. das Rähmchen abwärts zu bewegen strebt. Ungefähr 10 mm. von der Axe entfernt ist am Rähmchen selbst ein Faden befestigt, welcher aufwärts geht und mit dem zu reizenden Muskel verknüpft ist. Der Muskel ist also durch das Gewicht mit ungefähr 40 grm. gespannt und bringt, wenn er bei seiner Zuckung das Rähmchen aufwärts um die Axe dreht, das Gewicht von 200 grm. nur sehr wenig in aufsteigende Bewegung. Dagegen beschreibt die ungefähr 200 mm. von der Axe entfernte Zeichenspitze bei der Zuckung einen sehr grossen Bogen und bewegt sich mit grosser Geschwindigkeit, so dass die von ihr geschriebene Curve sehr steil ansteigt.

Als Zeichenfläche diente eine von einem Pendel geführte ebene Glasplatte. Die Ueberlegenheit dieser Einrichtung über einen rotirenden Cylinder ist jetzt wohl allgemein anerkannt, seit *Helmholtz* in seinen späteren myographischen Untersuchungen derselben vor dem von ihm selbst ursprünglich construirten Apparate den Vorzug gegeben hat. Der Nachtheil der ungleichen Geschwindigkeit auf verschiedenen Theilen der Bahn und die kreisförmige Gestalt der Abscissenlinie kommt den Vortheilen der bequemeren Handhabung gegenüber gar nicht in Betracht. Ich möchte indessen noch auf einige andere Vortheile aufmerksam machen, die mit einem rotirenden Cylinder nie zu erreichen sind. Weil beim Pendelmyographion an einer in sich selbst verschobenen Ebene gezeichnet wird, kann die zeichnende Spitze genau in der Kreislinie verbleiben, in welcher sie sich bei konstantem Abstande von der Drehungsaxe bewegen würde, ohne dass sie sich von der Fläche, auf welche gezeichnet wird, entfernt. Beim rotirenden Cylinder kann dies nie der Fall sein, mag man nun die Ebene des Kreises, in welcher sich die Zeichenspitze bewegt, so legen, dass sie den rotirenden Cylindermantel senkrecht schneidet oder so, dass sie ihn berührt. Immer muss die Zeichenspitze durch pendulirende oder in weitem Umfange federnde Mittelglieder am Hebel befestigt sein, wenn sie bei Hebung des letzteren am Cylindermantel angelehnt bleiben soll. Wenn man dagegen beim Pendelmyographion, die Axe des Schreibhebels senkrecht zur Zeichenebene stellt, so

bewegt sich die zeichnende Spitze in einer in diese Ebene fallende Kreislinie, wenn die Abmessungen der Theile so gewählt sind, dass sie sich von vornherein in dieser Ebene befand. Um die Spitze gegen die Zeichenebene leise anlehnen zu können, muss ihre Verbindung mit dem Hebel allerdings auch ein wenig federn, aber die Biegsamkeit dieser Verbindung wird bei der ganzen Bewegung nicht weiter in Anspruch genommen. Die Spitze bleibt von der Axe beim ganzen Versuch in konstanter Entfernung, beschreibt eine genaue Kreislinie.

Die gedachte Stellung des Zeichenhebels mit der Axe senkrecht zur Zeichenebene kann noch einen anderen Vortheil bieten, dessen ich mich bei vielen meiner Versuche bedient habe. Stellt man nämlich den Hebel in der Gleichgewichtslage nicht wagrecht, sondern lässt ihn tief unter den Horizont herabhängen und zwar so, dass die Anfangsrichtung der Bewegung der Zeichenspitze mit der Bewegungsrichtung des Punktes der Pendelplatte, vor welchem sie steht, einen sehr spitzen Winkel einschliesst, dann geht die Zeichenspitze dem Pendelpunkte gleichsam nach und die Kurve erhebt sich noch viel steiler aus der Abscissenlinie als wenn die Zeichenspitze aus ihrer Ruhelage senkrecht aufstiege.

Endlich kann ich noch eine Kleinigkeit erwähnen, die zwar nicht das Prinzip der Versuche betrifft, aber vielleicht manchem, der sich mit myographischen Untersuchungen beschäftigt, viel Mühe sparen kann. Es hat nämlich einige Schwierigkeit, die Myogramme von der berussten Glasplatte oder Glaswalze abzuklatschen oder auf photographischem Wege zu kopiren. Dies ist nun bei Anwendung des Pendelmyographion, wie ich mich zu meiner eigenen Ueberraschung überzeugt habe, gar nicht erforderlich. Spannt man nämlich auf die Platte desselben weisses Glanzpapier, wie es die Buchbinder zu feinen Papparbeiten zu verwenden pflegen, glatt auf und berusst es, so erhält man eben so genaue Curven als wenn man auf die berusste Glasfläche unmittelbar zeichnete. Das Papier kann man aber abnehmen, die Zeichnung mit Firniss fixiren und man kann so ohne alle Mühe die Originale selbst aufbewahren. Den kleinen Cylinder eines Rotationsmyographion mit Papier hinlänglich glatt zu überziehen dürfte schwerlich ausführbar sein.

So steil nun auch bei Anwendung der vorhin beschriebenen Kunstgriffe die Curven sich aus der Abscissenlinie erheben, so ist es doch unmöglich, den Punkt, an welchem dies geschieht, mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen und man ist daher darauf angewiesen — wie dies übrigens bei jeder zeitmessenden myographischen Technik der Fall ist — nur congruente Zuckungscurven die von derselben Abscissenlinie ausgehen, zu vergleichen, sie nahe über der Abscissenlinie mit einer zur letzteren gezogenen Parallele

(hier einem koncentrischen Kreise) zu schneiden und das zwischen die Curven fallende Stück der Parallele als Maass für diejenige Zeit zu nehmen, um welche die zweite Curve später als die erste gezeichnet wurde. Um vor der folgenden Zuckung die Zeichenspitze immer wieder genau auf die alte Abscissenlinie zu bringen, habe ich sehr bequem gefunden, die Spitze mit einer Brückeschen Lupe zu betrachten und an der Mikrometerschraube, welche den Muskel trägt so lange zu drehen, bis die Spitze wieder genau auf der alten Abscissenlinie steht.

Unter Anwendung der vorstehend angedeuteten Methoden und Kunstgriffe ist es mir gelungen, Myogramme von grosser Vollkommenheit zu erhalten, und die oben gestellte Frage mit Sicherheit zu entscheiden.

Als Präparat diente selbstverständlich das allbekannte Gastrocnemiuspräparat vom Frosche mit dem nervus ischiadicus der bis zum Austritt aus dem Rückgrat bei mässig grossen Exemplaren von Rana esculenta gewöhnlich 60 bis 70 mm. misst, eine Länge, die hinreicht um eine Verschiebung der Zuckungscurve um etwa 2 mm. am Myographion zu bedingen, wenn man mit lokaler Reizung zwischen einer möglichst central und einer möglichst peripher gelegenen kleinen Nervenstrecke wechselt.

Der Nerv wurde, wie eingangs schon angedeutet ist, in einen flachen rechteckigen Glastrog gelegt. Seine Breite war etwas über 100 mm. seine Länge etwa 200 mm. Die beiden kurzen Seitenflächen bestanden aus Zinkblechstreifen, denen Drähte angelöthet waren, um die Leitungsdrähte vom Induktionsapparate damit zu verknüpfen. Die langen Seitenflächen bestanden aus Glasstreifen. Ein Stück der einen Seitenwand, wo der Nerv darüber hinlag, war aus einem Glimmerstreifchen gebildet, um den Muskel möglichst nahe an die eingetauchte Nervenstrecke bringen zu können. Unter die als Grundfläche dienende Glasplatte war ein Papierblatt geklebt, auf welches von oben her sichtbar eine Anzahl von Radien gezogen waren, die alle in demjenigen Punkte des langen Randes zusammenliefen, welchen der Nerv überschritt. Je zwei Radien schlossen einen Winkel von 10 Graden ein. Wenn man also den Nerven auf einen von diesen Radien legte, so wusste man genau, welchen Winkel die Richtung des Nerven mit der Langseite des Troges einschloss. Der ganze Trog wurde etwa 3 mm. hoch mit $6^0/_{00}$iger Kochsalzlösung gefüllt und nur wenig höher überragten die Seitenwände die Grundfläche.

Ich will gleich hier bemerken, dass man mit dieser Vorrichtung ohne etwas wesentliches zu ändern auch Versuche anstellen kann, bei denen ein elektrischer Reiz auf irgend eine kleine Nervenstrecke localisirt bleibt. Man braucht nur noch ein kleines über die Lösung hervorragendes Glasbänkchen in den Trog zu stellen mit schmalen Füsschen, welche

so wenig Flüssigkeit verdrängen, dass die Stromfäden in der Leitermasse nicht merklich verzerrt werden. Auf das Bänkchen kann man den centralen Theil des Nerven heraufziehen, so dass er der Wirkung des Stromes entrückt ist. Den ebenfalls dem Strome zu entziehenden peripheren Theil des Nerven legt man ganz aus dem Troge heraus auf den Muskel und es hängt dann nur noch eine beliebig verkürzbare Schlinge an irgend einer Stelle des Nerven in die Lösung hinein und ist der Stromwirkung ausgesetzt.

Es ist endlich noch zu bemerken, dass man sich, da mit Oeffnungsschlägen von oft beträchtlicher Stärke gereizt werden soll, vor unipolarer Abgleichung sehr zu hüten hat. Ich habe zu diesem Zwecke als Verbindungsstück zwischen der Achillessehne und dem am Schreibhebel angeknüpften Faden ein Glashäkchen eingeschaltet, dessen Krümmung so beschaffen war, dass es auch durch herabsickernde Flüssigkeit nie ganz benetzt werden konnte. Ausserdem wurde der Oberschenkelknochen in ein Stückchen Kautschukschlauch gesteckt und so isolirt erst in die Zange des Halters gefasst.

Bei den Versuchen selbst wird in die primäre Leitung eines Induktionsapparates der bekannte vom Pendel selbst in Gang gesetzte Unterbrecher nach *Helmholtz*'s Construktion aufgenommen, so dass in einem ganz bestimmten Augenblick des Pendelschwunges der primäre Strom unterbrochen und ein Oeffnungsschlag ausgelöst wird. Die Enden der sekundären Rolle sind mit den oben erwähnten die kurzen Seitenwände des Troges bildenden Zinkstreifen verbunden, so dass der Oeffnungsschlag den Langseiten parallel die ganze Flüssigkeitsmasse gleichmässig durchsetzt, soweit auf Oeffnungsinduktionsschläge in körperlichen Leitern das Ohm'sche Gesetz Anwendung findet.

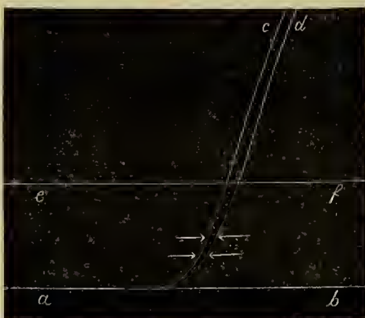
Um durch einen einfachen Handgriff den Sinn, in welchem der Schlag durch die Flüssigkeit geht, umkehren zu können, ist in der Leitung des sekundären Stromes ein Stromwender aufgenommen, sowie ferner noch ein Schlüssel, um den Schliessungsschlag abzublenden.

Wird nun ein Versuch in der beschriebenen Weise angestellt, so zeigt sich jedesmal aufs allerunzweideutigste, dass die gesammte Zeit der latenten Reizung vom Augenblicke des Induktionsschlages bis zum Beginn der Zuckung ein wenig länger ist, wenn der Induktionsschlag schräg aufsteigend den Nerven durchsetzt, als wenn er schräg absteigend geht.

Um eine Idee von dem Aussehen meiner Myogramme zu geben, ist in Figur 2 ein solches copirt. Der Nerv bildete einen Winkel von 20^0 mit der Langseite des Troges. Der Muskel hatte 4 mal gezuckt, 2 mal bei schräg abstreigender 2 mal bei schräg aufsteigender Richtung des

Induktionsstromes. Die beiden Curven von den ersteren Zuckungen fielen merklich zusammen und ebenso die von den beiden letzteren. Nur mit der Lupe konnte an einzelnen Stellen des Anfangstheiles erkannt werden, dass jede Linie doppelt gezeichnet war, was in der Copie nicht recht wieder gegeben werden konnte. Es stellt daher die bei *c* endigende mehr links gelegene mit zwei ⇗ bezeichnete Curve die den zwei Zuckungen bei schräg absteigendem Strome entsprechenden Curve dar und die mit den zwei ⇖ bezeichnete bei *d* endigende Linie stellt den Anfangstheil der Doppelkurve dar, welche den zwei Zuckungen bei schräg aufsteigendem Strome entspricht. *ef* ist ein Stück eines dem Abscissenkreise *a b* koncentrischen Kreises, in welchem man die Verschiebung der beiden Curven gegeneinander schätzen kann, woraus dann die Differenz der Zeiten der latenten Reizung zu berechnen ist. Diese Differenz ergiebt sich aus Stimmgabelzeichnungen in unserem Falle zu etwa 0,002″.

Figur 2.



Diese eine Zeichnung wird genügen eine Vorstellung von dem den weiteren Mittheilungen zu Grunde liegenden graphischen Material zu geben und dürfte es überflüssig sein, dieselben noch mit weiteren Zeichnungen zu belegen, die doch alle immer darauf hinauslaufen, dass unter gewissen Umständen gezeichnete Zuckungskurven merklich zusammen fallen und die unter gewissen anderen Umständen gezeichneten mehr oder weniger dagegen verschoben erscheinen.

Nachdem festgestellt war, dass bei schräg aufsteigendem Schlage das Stadium der latenten Reizung länger dauert als bei schräg absteigendem, entstand vor Allem die Frage, ob auf die Differenz der Durchströmungswinkel von Einfluss ist. Ich habe über diese Frage zahlreiche Versuchsreihen angestellt, in welchen verschiedene Combinationen der veränderlichen Elemente Grösse des Durchströmungswinkels und Sinn der Durchströmung (schräg ab- und schräg aufsteigend) in verschiedener Reihenfolge wechselten. Es kamen wohl öfters bei diesen Versuchsreihen kleine Unregelmässigkeiten vor in der Weise, dass die Verzögerung der Zuckung bei schräg aufsteigendem Strome bei verschiedenen Durchströmungswinkeln ein wenig verschieden ausfiel. Im grossen und ganzen jedoch zeigte sich diese Verzögerung vom Durchströmungswinkel unabhängig. Ich habe wiederholt Versuchsgruppen erhalten, in denen die Zuckungscurven bei schräg aufsteigendem Strome für die Durchströmungswinkel 0°, 20°,

40⁰, 60⁰, 80⁰ nicht einmal mit der Lupe alle von einander unterschieden werden konnten und wo dann auch die Zuckungscurven bei schräg absteigendem Strome für die Durchströmungswinkel 0⁰ und 80⁰ merklich zusammenfallen. Figur 2 könnte daher ganz wohl eine solche Versuchsreihe vergegenwärtigen. Die Linie *d* würde alle Zuckungen bei schräg aufsteigendem Strome für die Durchströmungswinkel 0⁰, 20⁰, 40⁰, 60⁰, 80⁰ darstellen und die Linie *c* die Zuckungen bei schräg absteigendem Strome für die Winkel 0⁰ und 80⁰. Dass ich bei den in Rede stehenden Versuchsgruppen nur für den kleinsten und grössten Winkel Zuckungen mit schräg absteigendem Strome zeichnen liess, hat darin seinen Grund, dass die Zuckungen bei schräg absteigendem Strome ohnehin fast nie Abweichungen zeigten, diese sich vielmehr fast nur bei den mit schräg aufsteigend gerichtetem Strome hervorgerufenen Zuckungen bemerklich machten.

Ich glaube daher, den Satz aussprechen zu dürfen, die Verzögerung der Zuckung bei schräg aufsteigendem Strome ist unter normalen Umständen namentlich bei mässiger Stärke des Stromes vom Durchströmungswinkel unabhängig, wenn sich der letztere noch merklich von einem rechten unterscheidet. Macht man den Durchströmungswinkel so genau als es das Augenmaass gestattet einem rechten gleich, so kann von einer schräg auf- oder schräg absteigenden Durchströmung eigentlich nicht mehr die Rede sein, da jetzt der Nerv, so weit man beurtheilen kann, *quer* durchströmt wird. Hier treten dann auch eigenthümliche Erscheinungen auf. Die Differenz des Stadiums der latenten Reizung bei der einen und der anderen Durchströmungsrichtung fällt meist ganz weg oder ist wenigstens sehr gering und vergleicht man diese Zuckungen mit solchen für einen kleineren Durchströmungswinkel, so fallen sie bald mit der bei schräg aufsteigendem bald mit der bei schräg absteigendem Strome gezeichneten Zuckung zusammen, bald fallen sie auch zwischen beide. Wir werden weiter unten sehen, dass dies anscheinend gesetzlose Verhalten ganz wohl erklärbar ist.

Es wirft sich jetzt weiter die Frage auf: worin ist die Verzögerung der Zuckung bei schräg aufsteigendem Strome begründet? Man könnte offenbar erstens annehmen, dass den eingangs entwickelten Vorstellungen entsprechend wirklich bei beiden Stromrichtungen in allen Querschnitten Erregungswellen entstünden und die welche von dem am meisten peripherisch gelegenen durchströmten Abschnitte käme zur Wirksamkeit. Die Verzögerung wäre alsdann nicht aus einer längeren Fortpflanzungszeit im Nerven zu erklären, sondern etwa durch ein freilich bis jetzt noch nicht bemerktes Verhalten des Nerven gegenüber dem aufsteigenden Strome, welches ein Stadium der latenten Reizung im Nerven selbst bedingte, das bei absteigender Stromrichtung kürzer oder gleich Null wäre. Man könnte

aber auch zweitens vermuthen, dass bei schräg durchströmtem Nerven nicht **jede** Austrittstelle eines Stromfadens aus dem Nerven Sitz eines Reizanstosses ist, sondern immer nur diejenige, welche in Anbetracht des Gesammtstromes am weitesten stromabwärts gelegen ist. Geben wir dieser Vermuthung Raum, dann würde in dem (Figur 1) dargestellten Beispiele bei der Richtung des Stromes von b nach a nur der Punkt α_1 und bei der Stromrichtung von a nach b nur der Punkt β_7 Sitz des Reizanstosses sein. Wenn wir nun, wie oben geschah, auf der Seite von p den Muskel annehmen, so würde die Zuckung durch den schräg aufsteigenden Strom desswegen später nach dem Reizschlage erfolgen, weil bei dieser Stromrichtung die Erregungswelle einen um die Strecke β_7 α_1 längeren Weg im Nerven zurückzulegen hätte, als bei der entgegengesetzten Stromrichtung. Die vorstehend ausgesprochene Vermuthung drängt sich eigentlich schon unabweislich auf, wenn man auch nur das bereits vorliegende Versuchsmaterial genauer betrachtet. Erstens nämlich fällt der numerische Werth der beobachteten Verzögerung ganz in den Bereich derjenigen Zeitgrössen, welche die Fortpflanzungsdauer der Erregung in einer Nervenstrecke wie die hier durchströmte messen. In der That nehmen wir an, dass bei dem in Figur 2 dargestellten Versuche die durchströmte Nervenlänge etwa 60 mm. betrug, so berechnet sich bei 30 m. Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine Fortpflanzungsdauer der Erregung von 0,002″. Genau soviel betrug aber in jenem Versuche die Verzögerung der Zuckung bei schräg aufsteigender Durchströmung.

Zweitens erwäge man, dass bei den vorliegenden Versuchen der Durchströmungswinkel ganz stetig bis zum Werthe Null verkleinert werden darf, ohne dass am Wesen des Vorganges sich irgend etwas ändert. Ist aber der Durchströmungswinkel-Null, oder ist mit andern Worten der Nerv seiner Länge nach durchflossen, so ist die Verspätung der Schliessungszuckung bei aufsteigendem Strome nach den *Pflüger*'schen Hypothesen dadurch bedingt, dass der Reizanstoss am oberen Ende des Nerven statt hat, während bei absteigend gerichtetem Strome das untere Ende des Nerven der Ort der Reizung ist. Dies muss die Vermuthung nahe legen, dass auch bei schräger Durchströmung des Nerven dieselbe Ursache die Verspätung der Zuckung bei aufsteigender Stromrichtung bewirkt, und dass der *Pflüger*'schen Hypothese in irgend einer Weise ein Zusatz beizufügen ist, nach welchem bei schräger Nervendurchströmung eben nicht die Kathodenstelle jedes Stromfadens Reizort wäre.

Nichts ist leichter als die aufgeworfene Frage experimentell zur Entscheidung zu bringen. In der That wäre die Kathodenstelle des am meisten peripheriewärts gelegenen Stromfadens (b_1, a_1 in Figur 1),

möchte derselbe im Sinne von *b* nach *a* oder im Sinne von *a* nach *b* fliessen, allemal ein Reizort und hätte die Verspätung der Zuckung bei aufsteigendem Strome ihren Grund in einem eigenthümlichen Stadium latenter Reizung im Nerven, dann müsste diese Verspätung von der Länge des durchströmten Nervenstückes unabhängig sein. Ist dagegen die Verspätung durch die Fortpflanzung von einem weiter oben am Nerven gelegenen Reizorte bedingt, dann muss die Verspätung um so kürzer ausfallen, je kleiner man die durchströmte Strecke macht, durch welche sich nach unserer Vermuthung bei aufsteigender Stromrichtung die Erregung fortpflanzen muss.

Der sehr leicht ausführbare Versuch entscheidet ganz unzweideutig für unsere Vermuthung. Man legt zunächst den Nerven in seiner ganzen Erstreckung auf irgend einen Radius des Troges und lässt zunächst zwei Zuckungen verzeichnen, eine bei auf- die andere bei absteigender Stromrichtung. Dieselben werden eine Lage zueinander haben, wie die beiden Curven in Fig. 2. Zieht man jetzt die centrale Hälfte des Nerven aus der Flüssigkeit und legt sie auf das oben beschriebene in den Trog gestellte Bänkchen, so bleibt die Zuckung bei schräg absteigend gerichtetem Schlage an ihrem vorigen Platze, aber die Zuckung bei schräg aufsteigend gerichtetem Schlage rückt näher an sie heran, die Curve liegt in dem Zwischenraume zwischen den beiden zuerst gezeichneten Curven und zwar um so näher an der bei schräg absteigendem Schlage gezeichneten je kürzer das eingetaucht gebliebene Nervenstück ist; ganz so wie es zu erwarten war, wenn man annimmt, dass bei schräg aufsteigend gerichtetem Schlage bloss der oberste eingetauchte Nervenpunkt der Sitz des Reizes ist.

Bis jetzt haben wir immer, wenn auch unter verschiedenem Winkel gegen die Stromrichtung, den ganzen Nerven soweit er in die Flüssigkeit eingetaucht war, in eine gerade Linie gelegt. Wir wollen jetzt diese Bedingung fallen lassen und fragen: an welcher Stelle des Nerven wirkt ein ihn durchfahrender Induktionsschlag reizend, wenn der Nerv krumm oder geknickt liegt.

Nach den bisher gemachten Erfahrungen kann kaum bezweifelt werden, dass der peripherischste Punkt des eingetauchten Nervenstückes allemal dann der Sitz des Reizes ist, wenn die unterste Nervenstrecke schrägabsteigend durchflossen ist, mag der weiter aufwärts gelegene Theil des Nerven gekrümmt oder geknickt liegen wie er will. Dies hat sich dann auch durchaus regelmässig so gezeigt. Genauer gesprochen trat die Zuckung ebenso früh auf, wie bei schräg abwärts durch den gerade gestreckten Nerven fliessendem Strome, allemal wenn nur die unterste

Nervenstrecke so lag, dass sie schräg abwärts durchflossen wurde, wie auch immer der übrige Theil des Nerven im Troge gelegt war, gekrümmt, geknickt oder mehrfach geschlängelt.

Es ist demnach nur noch zu untersuchen, ob und um wieviel verspätet die Zuckung beginnt, wenn mindestens der unterste Theil des Nerven schräg aufsteigend durchflossen ist. Ich habe Versuche mit mannigfachen Knickungen des Nerven angestellt aus denen sich folgende Regel ergeben hat: Liegt der Nerv so, dass alle einzelnen Theile desselben schräg aufsteigend, wenn auch nnter noch so verschiedenen Winkeln durchströmt werden, dann ist die Verspätung gerade so gross, als ob der Nerv gerade ausgestreckt aufsteigend durchflossen würde. Liegt dagegen der Nerv so, dass an den schräg aufsteigend durchflossenen peripherischesten Theil des Nerven ein absteigend durchflossenes Stück angrenzt, so ist die Verzögerung der Zuckung um so kleiner, je näher diese Grenze am Muskel liegt oder je kürzer das peripherischeste aufsteigend durchströmte Nervenstück ist. Man wird demnach mit grosser Wahrscheinlichkeit den Satz aufstellen können, dass an jeder Stelle eines Nerven, wo eine schräg aufsteigend und eine schräg absteigend durchflossene Nervenstrecke aneinander grenzen, ein Reizanstoss statt findet beim Entstehen des Stromes resp. bei einem Induktionsschlag.

Aus diesem Satze erklärt sich offenbar auch das obenerwähnte anscheinend unregelmässige Verhalten des unter einem rechten Winkel gegen die Stromrichtung gerade ausgestreckten Nerven. In der That ist es ja unmöglich, die sämmtlichen Fasern eines Nerven wirklich genau gerade zu strecken. Es werden immer einzelne Strecken des Nerven von 90^0 mehr oder weniger abweichende Winkel bilden. Diese Strecken allein können aber überhaupt Sitz des Reizes sein, da genau quer durchflossene Strecken eben unerregt bleiben. Wenn wir also bei einer gewissen Stromrichtung an dem möglichst genau quer gelegten Nerven vom peripherischen Ende nach dem Centrum fort gehen, so werden wir zum gereizten Punkte kommen da, wo zum ersten Male eine merklich schräg durchflossene Nervenstrecke ihr am weitesten stromabwärts gelegenes Ende hat. Dieser Punkt kann aber zufällig weiter unten oder höher oben am Nerven liegen. Es wird also bei dieser Stromrichtung die Verspätung der Zuckung jeden beliebigem Werth haben können zwischen Null und dem Werthe, welcher ihr bei im Ganzen aufsteigend durchflossenen Nerven zukommt. Kehrt man dann den Strom um, so ist zu erwarten, dass die Verspätung der Zuckung keinen sehr verschiedenen Werth annimmt, weil wegen der Schlängelung der Nervenfasern bei möglichst querer Lagerung im Allgemeinen in sehr kurzen Zwischenräumen schräg auf- und schräg absteigend

durchflossene Strecken aneinander grenzen werden, was bei merklich schräger Lagerung des Nerven im Ganzen natürlich nicht der Fall ist.

Um die gesammten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in einen Satz zusammenfassen zu können, der den *Pflüger*'schen Satz als speciellen Fall enthalten muss, sind ein paar Wortdefinitionen nöthig, die einen möglichst kurzen Ausdruck gestatten. Ich will eine Nervenparthie, welche in allen ihren Theilen, sei es unter verschiedenen Winkeln den Werth 0^0 eingeschlossen, entweder nur aufsteigend oder nur absteigend durchflossen ist, eine *„gleichsinnig schräg durchflossene“* Nervenstrecke nennen. Zweitens will ich eine *„elektrisch nicht angegriffene“* Nervenstelle eine solche nennen, die vermöge ihrer Lage zum elektrischen Strom oder vermöge ihrer Eigenschaften selbst, kein Sitz elektrisches Reizes sein kann, mögen auch angrenzende Strecken durchflossen sein und liegen wie man will. In unseren Fällen würden also dreierlei elektrisch nicht angegriffene Nervenstellen vorkommen können, nämlich erstens der Endquerschnitt, weil er abgestorben und dabei überhaupt unerregbar ist, zweitens die äusserste peripherische Nervenstrecke, welche aus dem Troge hervorragt und folglich gar nicht vom Strome durchflossen ist, endlich drittens diejenigen Nervenstellen, welche bei geknickter oder gekrümmter Lage des Nerven die Grenzen zwischen einer schräg aufsteigend und einer schräg absteigend durchflossenen Nervenparthie bilden und die daher nothwendig *genau quer* durchflossen sein müssen. Unter Anwendung der definirten Ausdrücke lässt sich der ganze Complex der beschriebenen Erscheinungen mit Einschluss der schon bekannten Thatsachen über Reizung des der Länge nach durchströmten Nerven in dem Satze ausdrücken: *Beim Entstehen des elektrischen Stromes, sowie bei einem sehr kurz dauernden Stromstosse von mässiger Stärke, findet ein Reizanstoss statt an dem am meisten stromabwärts gelegenen Endpunkte einer einsinnig durchströmten Nervenstrecke, wo dieselbe an eine elektrisch nicht angegriffene Stelle grenzt.* Als Vermuthung, die noch der Bestätigung durch besondere Versuche bedarf, möchte ich hinzufügen, dass beim Aufhören des Stromes das am meisten stromaufwärts gelegene Ende einer einsinnig durchflossenen Strecke der Sitz des Reizes ist.

Würzburg, 24. Februar 1877.

Experimentelle Beiträge zur Glycogen- und Zuckerbildung in der Leber.

Von

BENJAMIN FINN, Dr. med.

aus Russland.

1. Einleitende Betrachtungen.

Die Lehre vom Glycogen, seiner Entstehung und Bedeutung im Organismus, hat seit ihrer ersten Formulirung durch *Claude Bernard* mannigfache Wandlungen erfahren. Dieser Forscher selbst zwar blieb, abgesehen von den Aenderungen, die er mit eigener Hand auf Grund neugefundener Thatsachen an dem Grundbau seiner Lehre, gleich anfänglich anbringen musste, seinen ersten Aufstellungen getreu: gegen seine Anschauungen erhob sich besonders *Pavy*, dem sich merkwürdigerweise ein grosser Theil der neuern deutschen Schule anschloss.

Die Versuchsresultate, die unten mitgetheilt werden, drängen den Verfasser immer näher zur modificirten *Bernard*'schen Ansicht hin. An eine Darlegung der Wandlungen dieser Lehre sollen darum die eigenen Versuche angeknüpft werden.

Bernard fasst die *Zucker-Krankheit* überhaupt nicht als etwas vom gesunden Zustande durchaus Verschiedenes auf, sondern nur als eine Aenderung des Quantums gewisser physiologischer Funktionen. Ihm ist der Diabetes mellitus nur die Folge der Steigerung bestimmter im normalen Leben nothwendig vorhandener Einrichtungen. Die eigentliche thatsächliche Grundlage für alle hieher gehörigen Erscheinungen ist für *Bernard* die von ihm sorgfältig verfolgte Beobachtung, dass das normale Blut Zucker enthalte. Die noch neuerdings hierüber angestellten Versuche bezweckten hauptsächlich eine Topographie der Glychämie durch Untersuchung an verschiedenen Stellen des Kreislaufes zu ermöglichen, um daraus den Ort, wo der Zucker dem Blute beigemischt

wird, und wo er wieder daraus verschwindet, zu bestimmen. Diese Versuche scheinen so wenig bekannt, dass eine Reproduktion derselben gestattet sein dürfte.

Auf 1000 C. C. Blut wurde gefunden Zucker: Gr.

Nr. des Versuchs.	Ort.	
	Art. c. cruralis	vena cruralis
I.	1,51	0,95
II.	1,25	0,99
III.	1,45	0,73
IV.	1,17	0,93
	carotis	v. jugularis
V.	1,13	0,93
VI.	1,10	0,96

Nr. des Versuchs.	Ort.		
	cor dextr.	cor sinistr.	
VII.	1,12	1,17	
VIII.	1,56	1,06	
IX.	1,08	1,25	
	carotis	cava superior	
X.	1,15	0,96	
	vena jugul	v. cava sup.	cor dext.
XI.	0,91	0,90	1,25
	cava inferior unterhalb Diaphragma	cava inferior oberhalb Diaphragma	
XII.	0,54	1,12	

Diese Versuche zeigen im Allgemeinen, dass das arterielle Blut durchschnittlich reicher ist an Zucker als das venöse: indem also das arterielle Blut die Capillaren durchsetzt, verliert es einen Theil seines Zuckers. Da die Lymphe beständig mit einem gewissen Gehalte an Dextrose dem Blute zuströmt, so könnte man darum denken, der Ersatz an Zucker, der dem Blute stets geleistet werden muss, weil dessen Zuckergehalt ungefähr constant bleibt, geschehe durch den Ductus thoracicus, der in den Ursprung der oberen Hohlvene sich ergiesst. Diese Ansicht ist zurückgewiesen durch den Versuch N. XI, wo bei demselben Thiere in cava super. und vena jug. der gleiche Zuckergehalt gefunden wurde. Dieses Resultat hat auch bei näherer Ueberlegung nichts auffallendes: denn die durch die obere Hohlvene passirende Blutmenge ist so bedeutend im Vergleich zur zuströmenden Lymphmenge und zugleich der Zuckergehalt der letzteren so gering, dass dadurch die Zunahme des Zuckers im Blute der oberen Hohlvene überhaupt eine verschwindend kleine Grösse wird.

Dagegen zeigt nun der gleiche Versuch (N. XI) sofort ein beträchtliches Ansteigen des Zuckers, wenn man von der oberen Hohlvene zum rechten Herzen weiter geht. Diese Zunahme rührt her von dem relativ hohen Zuckergehalte des Blutes in der unteren Hohlvene und woher dieser Zucker stammt, zeigt sogleich der Versuch N. XII.

Darnach wird dem Blute der cava infer. der Zucker erst in der Höhe des Zwerchfells zugeführt: derselbe stammt nicht aus dem Blute der hinteren Extremität oder der Nieren, sondern aus dem der Leber. Diese letztere Thatsache, der relativ beträchtliche Gehalt des Lebervenenblutes an Zucker ist ausserdem noch durch viele Forscher bewiesen. Die Versuche von *Claude Bernard* selbst, dann von *Lehmann*, *C. Schmidt* in Dorpat, *Poggiale*, *Lecomte* zeigen dies an: der Zuckergehalt wurde bis zu 0,9 % gefunden.[1])

Ueber den Zuckergehalt der Pfortader schwanken die Angaben: die meisten Experimentatoren geben denselben als sehr niedrig an: doch fehlt es auch nicht an Beobachtungen, die einen sehr hohen Zuckergehalt des Blutes der vena portarum beweisen: besonders *Figuier* ist der Vertreter dieser Ansicht, die er in wiederholten Mittheilungen an die Pariser Akademie (Comptes rendues) gegen *Claude Bernard* und *Lehmann* besonders aufrecht erhielt.

Aus dem Beweise, dass das Lebervenenblut regelmässig so reich an Zucker ist, folgt eo ipso, dass die normale, eben frisch aus dem Thiere entfernte Leber Zucker enthalten muss, wenigstens so viel, als ihrem Gehalte an Lebervenenblut zukommt. Diese Thatsache muss später besprochen werden.

Erwähnt sei hier die merkwürdige Angabe von *Cl. Bernard*, dass der Zuckergehalt des Blutes aus dem rechten Herzen bei allen Thieren wesentlich gleich ist, auch bei verschiedenster Art der Nahrung.

Durch diese Versuche war *C. Bernard* von Anfang an berechtigt, von der zuckerbildenden Funktion der Leber zu sprechen. Als die Muttersubstanz dieses Zuckers nahm er anfänglich von Eiweisskörpern stammende Stoffe an, besonders gestützt auf die Glychämie bei Fleischfressern und auf verschiedene bei Diabeti-

---

[1]) Anders allerdings ist *Schiff*'s Ansicht, der den dem Blute in der Leber beigemischten Zucker im linken Herzen fast immer schon zerstört sein lässt.

kern zu beobachtende Thatsachen, in weitj h e rankhlaerKcbekanntlich mehr Zucker im Harne ausgeschieden wird, als in der Nahrung in der Form sog. amylacea enthalten war, wo sogar bei vollständiger Abstinenz von amylaceis noch grosse Zuckermengen im Harne erscheinen. Dabei hatte es sich *Bernard* nicht entgehen lassen, durch besondere Versuche festzustellen, dass aus den Eiweisskörpern keine zuckerähnliche Substanz unter dem Einflusse der verschiedenen in den Darm sich ergiessenden Verdauungssäfte gebildet wird.

Als die Muttersubstanz des Leberzuckers erkannte *Claude Bernard* dann bald selbst das eigenthümliche jetzt wohl bekannte Kohlenhydrat, das er Glycogen nannte. Er hielt diese Substanz anfänglich für stickstoffhaltig, wahrscheinlich dadurch verführt, dass dieselbe durch Kochen scheinbar verhindert wird, sich in Zucker umzuwandeln. Diese Meinung gab er indess auf und nahm die damals schon von *Hensen*[1]) und *Schiff*[2]) vertretene Ansicht an, dass ein im Blute vorkommendes Ferment diese Umwandlung zu Zucker bewirke: durch Siedehitze werde dieses Ferment zerstört. *Schiff* fand darauf das Glycogen in den Leberzellen selbst in Gestalt runder geformter Theilchen.

Bezüglich des zuckerbildenden Fermentes macht *Schiff* die Angabe, dass es ein regelmässiger Bestandtheil des Blutes der höheren Wirbelthiere ist: dass es bei niedrigen Wirbelthieren zuweilen fehlt, wodurch der Uebergang von Glycogen in Zucker aufhört. *Hensen*[3]) stellte die Hypothese auf, der Pankreassaft, der ausserhalb der Verdauungszeit zurück ins Blut übergeht, liefere das zuckerbildende Ferment, eine Hypothese, die von *Bernard* und *Schiff* zurückgewiesen wurde. Dass dieses schon lange bekannte Ferment mit den rothen Blutkörperchen zusammenhängt ist uns neuerdings durch *Tiegel*'s[4]) Untersuchungen wahrscheinlich gemacht.

Schon oben ist der früheren Ansicht *Bernard*'s gedacht, wonach das Leberglycogen aus Eiweiss sich bilde; wogegen der in

---

1) *Hensen*, Ueber die Zuckerbildung in der Leber. Verh. der medic. phys. Gesellschaft in Würzburg 1856.

2) *Schiff*, Untersuchungen über die Zuckerbildung in Leber. Würzburg 1859.

3) *Hensen*, l. c.

4) *Tiegel*, Pflüger's Arch. 6.

der Nahrung aufgenommene Zucker zur Glycogenbildung nichts beitragen sollte. Neben den dort citirten Gründen bewog *Bernard* besonders die theoretische Schwierigkeit, einen sogen. Restitutionsprozess im thierischen Körper anzunehmen, sich vorzustellen, dass aus einfacheren Moleculen ein complicirteres (Glycogen) sich aufbaue, während sonst überall Zerstörung, Auflösung in einfachere Atomcomplexe der Typus der chemischen Umsetzungen des thierischen Körpers sei. Diese Meinung hat indess *Bernard* schon länger aufgegeben und lässt das Glycogen je nach Art der aufgenommenen Nahrung aus Eiweiss (resp. Peptonen) und aus den verschiedenen Kohlenhydraten entstehen. Diese Meinung ist durch ad hoc angestellte Versuche begründet: aus diesen geht auch hervor, dass Fett zur Bildung von Glycogen nicht dienen könne.

Die Entstehung sowohl als die Rückverwandlung des Glycogens in Zucker verlegt *Bernard* in die Leber.

Die *Bernard*'sche Theorie fand den ersten heftigen Gegner an seinem Schüler *Pavy*[1]). *Pavy* lässt das Glycogen aus den von aussen eingeführten Kohlenhydraten entstehen. Die Existenz von Zucker in der Leber leugnet *Pavy*, erklärt denselben für ein Leichenphänomen und nennt die Ansicht zum mindesten ungewöhnlich und unwahrscheinlich, welche die Entstehung des Glycogens aus Zucker und die Rückbildung des Glycogens zu Zucker an denselben Ort verlege.

Pavy's Verdienst ist es, die Bildung von Glycogen aus Zucker, die wir als einen sog. Anhydrisirungsprozess im Sinne der Chemie auffassen, mit aller Bestimmtheit festgehalten zu haben.

Der Ansicht von *Pavy*[2]) über die Entstehung des Glycogens steht direct entgegen die von *Brücke*[3]), der das Glycogen der Leber nicht von den Kohlenhydraten der Nahrung ableitet. Die Glycogenmengen, die man bei Zuckerfütterung antrifft, sollen dadurch bedingt sein, dass das Glycogen, das normaler Weise beständig in der Leber zerstört (oxydirt) werde, erhalten werden könne, durch den in der Nahrung zugeführten Zucker oder das Glycerin, welche beide als leichter verbrennliche Molecule zuerst

---

1) *Pavy*, Untersuchungen über Diabet. mellit.
2) *Pavy*, l. c.
3) *Brücke*, Vorlesungen über Physiologie. Wien.

der Zerstörung anheimfallen und das Glycogen dadurch ersparen (Ersparnisstheorie.) Diese Ansicht findet sich zuerst bei *Tschere-noff*, der sich indess in einer zweiten Abhandlung über den gleichen Gegenstand später der *Pavy*'schen Ansicht von der Möglichkeit der Glycogenbildung aus Zucker anschloss.

Im Sinne der Ersparnisstheorie ist dann noch von *Weiss* [1]) im *Brücke*'schen Laboratorium mit Glycerin experimentirt worden: auf *Weiss*'s Versuche muss später noch ausführlich eingegangen werden.

Die sog. Ersparnisstheorie ist durch die sorgfältigen zahlreichen neueren Untersuchungen auf diesem Gebiete wohl als zurückgewiesen anzusehen, wenigstens in der strengen Form, wie sie anfänglich von *Brücke*'s Schule formulirt wurde. Unsere Erfahrungen sind durch die Versuche von *Dock* [2]), *Luchsinger* [3]), *Külz* [4]), *Naunyn* [5]), *Salomon* [6]), *v. Wittich* [7]), *Ustimowitsch* [8]) und vielen Andern auf die an passender Stelle Bezug genommen werden soll, wesentlich bereichert und geklärt worden.

Erwähnt sei hier noch der Vollständigkeit halber die Ansicht *Schiff*'s über die Entstehung des Glycogens. Er nimmt als das Bildungsmaterial dieses Stoffes ein Kohlenhydrat an, das während der Thätigkeit der verschiedenen Muskeln, als Zersetzungsprodukt derselben, durch Desamidisirung dem Blute beigemischt wird. Als dieses Kohlenhydrat ist nach *Schiff* vermuthungsweise der *Jnosit* anzusehen.

2. Eigene Versuche.

Zuerst wurde experimentell die Frage in Angriff genommen, ob das Glycogen, das man unter verschiedenen Umständen (bei verschiedener Ernährungsweise) in der Leber antrifft, immer derselbe Körper sei. Diese Frage ist desshalb von hohem Interesse,

---

1) *Weiss*. Wiener acad. Sitzungsber. LXIV.

2) *Pflüger*'s Archiv V.

3) Physiologie und Pathologie d. Glycogens. Inaugural-Dissert. Zürich.

4) Pathologie und Therapie des Diabetes mellitus. Marburg 1874 u. 75. I. und II. — Marburg. Verhandl. 1876. — Pflüger's Archiv XIII.

5) Archiv für experim. Pathologie III.

6) *Virchow*'s Archiv 61.

7) Centralblatt 1875.

8) *Pflüger*'s Archiv XIII.

weil in neuerer Zeit von verschiedenen Seiten experimentell der Nachweis geliefert ist, dass durch sehr verschiedene Kohlenhydrate, wenn dieselben per os angeführt wurden, die Anhäufung von Glycogen in der Leber ermöglicht wird. Der Plan solcher Versuche ist jetzt auf Grund der früheren Erfahrungen sehr einfach und durchsichtig. Wenn man irgend eine Substanz auf ihre Fähigkeit, zur Glycogenbildung in der Leber zu dienen, untersuchen will, so ist zunächst nothwendig, die Leber des Thieres vollständig von dem zuerst dort deponirten Glycogen zu befreien, um dann bei Wiedererscheinen dieses Körpers denselben von den eingeführten neuen Versuchsbedingungen sicher ableiten zu können. Das erstere, die Entfernung des immer unter normalen Verhältnissen in der Leber aufgespeicherten Glycogens kann man leicht erreichen, wenn man das Thier hungern lässt. Es ist die Zeit jetzt durch Versuche ermittelt, durch welche verschiedene Thiere hungern müssen, damit die Leber glycogenfrei werde; sie hat sich für verschiedene Thierspezies sehr verschieden gezeigt, und ist im Allgemeinen bei Pflanzfressern kürzer als bei Fleischfressern.

Meine eigenen Versuche wurden Anfangs an Kaninchen, später auch an Hunden und Katzen angestellt. Die Kaninchen waren ausgewachsene, kräftige Thiere; ihr Gewicht schwankte zwischen 1400 bis 1700 Gr. — Sie bekamen vor dem Beginne des Versuchs erst einige Tage gleichmässige Diät, dann wurden sie zum Hungern bei Seite gesetzt durch 6—7 Tage. Diese Hungerzeit überstanden meine Thiere ausnahmslos sehr gut: am Ende derselben wurden sie dann mit der fraglichen Substanz, die zur Bildung von Leberglycogen führen sollte, gefüttert. Die Einverleibung dieser Substanzen geschah bei flüssigen durch die Schlundsonde (elastischen Katheter) und die Spritze — bei festen durch direktes Darreichen, Frassen die Thiere nicht freiwillig, so wurde mit einer Pinzette der Bissen bis tief in den Schlund gesteckt; er wurde dann von selbst bis in den Magen befördert.

Die Darstellung und Bestimmung des Glycogens geschah stets nach *Brücke*'s Methode [1]). Die Lebern wurden mit Wasser wiederholt ausgekocht; das Glycogen wurde schliesslich gewogen.

---

1) Wiener akad. Sitzungsber. Bd. 63, Abtheil. II. p. 1—9.

A. *Versuche mit Kohlenhydraten.*

Diese Versuche, die verschiedenen Kohlenhydrate bei richtig vorbereiteten Thieren auf ihr Vermögen zu prüfen, zur Glycogenanhäufung in der Leber beizutragen, sind in letzterer Zeit von verschiedenen Forschern mit übereinstimmendem Erfolge angestellt worden. Ich werde darum nur kurz die erhaltenen Resultate citiren, weil ja ohnehin die Versuche immer nur zur Gewinnung des Glycogens angestellt waren, von dessen Untersuchung weiter unten die Rede ist.

Die erste Tabelle bezieht sich auf Inulinfütterung: das Präparat war von Dr. *C. Marquart* in Bonn bezogen und von vorzüglicher Reinheit.

I. *Tabelle. Inulinfütterung bei Kaninchen.*

No. des Versuches.	Vorausgeg. Hungerzeit. Tage.	Tag und Zeit der Inulininjection.		Menge des Injicirten in c. c.	Gesammtmenge.	Zeit der Tödtung.	Gefundenes Glycogen in Grammen.
I.	$5\frac{1}{2}$	8. VI. 76.	$8\frac{3}{4}^{h.}$	38	150 cc.	$6^{h.}$ Abds.	Spur.
			$10\frac{1}{2}$ „	„			
			12	„			
			$1\frac{3}{4}$	„			
II.	wie Versuch No. I.				150	7 Abds.	Spur.
III.	6	14. VI. 76.	$9^{h.}$	38	170	7 Abds.	Spur.
			10	„			
			12	„			
			$2\frac{1}{2}$	„			
			$3\frac{1}{2}$	20			
IV.	6	21. VI. 76.	9	38	190	4 Abds.	Spur.
			10	„			
			$11\frac{1}{4}$	„			
			12	„			
			1	„			
V.	Wie Versuchsthier No. IV.					$5\frac{1}{2}$	0,124.
VI.	„	„	„			$7\frac{1}{2}$	0,196.
VII.	6	13.VII.76.	$11^{h.}$	38	150	5 Abds.	Spur.
			$5\frac{3}{4}$	„			
		14.VII.76.	$8\frac{1}{2}$	„			
			$10\frac{1}{2}$	„			

Die Conzentration war (Versuch I und II) so, dass 35 Gr. Inulin in 150 c. c. Wasser suspendirt waren: bei III) waren 30 gr. zu 150, bei V) bis VII) je 25 Gr. Inulin zu 150 Wasser.

Ueber den Zuckergehalt der Lebern in diesen Versuchen wird später das nothwendige gesagt.

Die gefundenen Glycogenmengen sind geringer als sie von anderen Untersuchern bei Fütterung mit dem gleichen Stoffe angegeben worden. Möglich, dass an diesem Unterschiede der Umstand die Schuld trägt, dass das sonst verwendete Inulin leichter in Levulose umgewandelt wurde als das von mir verwendete. Levulose giebt, wie die Tabelle II zeigen wird, zur Bildung grösserer Glycogenmassen in der Leber leichter die Veranlassung.

Welches die richtige Auffassung dieses Versuchsresultates sei, dafür geben die Parallelversuche IV, V und VI die Deutung: diese drei Versuche wurden sonst unter absolut denselben Umständen angestellt, nur die Zeit, die zwischen der letzten Fütterung und dem Tode des Thieres lag, wurde immer grösser genommen: es stieg dabei die gefundene Glycogenmenge an.

Dies spricht dafür, dass der Kaninchendarm unter den angeführten Bedingungen das Inulin schwer zu Levulose umsetzt, dass er längere Zeit gebraucht um eine grössere Menge hydrolytisch zu spalten. Der Versuch VII, wo die Injectionen über 2 Tage vertheilt wurden, stimmt allerdings damit wieder weniger gut zusammen. Dennoch glaube ich, dass diess der Grund der obigen Resultate ist: damit stimmen Angaben von *Claude Bernard* über die Resultate der Rohrzuckerverdauung. Vor allem stellte *Bernard* fest, dass das Ferment, welches den Rohrzucker invertirt, nicht von den Speicheldrüsen, der Magenschleimhaut, dem Pankreas und dem intestinum crassum geliefert wird. Nur der Aufguss der Dünndarmschleimhaut war wirksam: auch Blut wirkte nicht.

Meine Versuche über das Inulin belehren mich, dass dasselbe vom menschlichen Speichel leicht zu Levulose umgewandelt wird.

Da bei der Injektion von Inulin in den Magen die Wirkung des Speichels der Kaninchen ausgeschlossen ist, der Magensaft aber mit grösster Wahrscheinlichkeit als unwirksam auf Kohlenhydrate angesehen werden darf, so muss das Inulin bis in den Dünndarm kommen, ehe überhaupt nur die Hydrolysirung beginnt. Darum vielleicht das verspätete Auftreten von Glycogen.

Um über die Fähigkeit des Dünndarmsaftes, das Inulin umzuwandeln, durch directen Versuch etwas zu erfahren, verfuhr ich so, dass ich bei einem Kaninchen nach Eröffnung der Bauchhöhle eine Dünndarmschlinge hervorzog, und dieselbe nach vorheriger Reinigung mit in Wasser suspendirtem Inulin füllte.

Die Operation selbst wird sehr leicht ertragen (wie überhaupt Pflanzenfresser auf den Bauchschnitt ungemein geringe Reaction zeigen): dagegen war die abgebundene Darmschlinge am Ende des Versuchs so hochgradig verändert (mit Exsudat angefüllt), dass eine Schlussfolgerung aus diesen Versuchen nicht gezogen werden soll: Levulose war im Inhalt nachzuweisen: die Menge wurde gar nicht bestimmt.

Die Levulose, die zu den nächsten Versuchen verwendet wurde, war aus Inulin selbst dargestellt: sie wurde durch Schlundsonde und Spritze in den Magen gebracht.

2. Tabelle: Fütterung von Levulose bei Kaninchen.

No. des Versuches.	Vorausgeg. Hungerzeit. Tage.	Tag und Zeit der Injection.		Menge der Injection in c. c.	Gesammtmenge.	Zeit der Tödtung.	Glycogen in Leber in Grammen.
			$8^{h.}$	38			
I.	5	14. VI. 76.	$9^1/_2$	„	150	$6^{h.}$ Abds.	0,982.
			11	„			
			$12^1/_2$	„			
II.	6	Wie No. I.				7 Abds.	1,321.
			$10^{h.}$	38			
III.	$6^1/_2$	21. VI. 76.	11	„	150	$7^1/_2$ Abds.	1,983.
			$12^1/_2$	„			
			$2^1/_2$	„			
			8	38			
IV.	6	6. VII. 76.	$9^1/_2$	„	150	7 Abds.	1,45.
			11	„			
			$2^1/_2$	„			

Die Concentration der Lösung war bei den Versuchen I und II 30 gr. zu 150 c. c., bei den 2 letzten Versuchen je 28 gr. zu 150 c. c. Lösung.

3. Tabelle: Kaninchen mit Glycerin gefüttert.

No. des Versuches.	Vorausgeg. Hungerzeit Tage.	Tag und Zeit der Fütterung.		Menge in c. c.	Gesammtmenge.	Zeit der Tödtung.	Glycogen gefunden in Grammen.
I.	5	12.VII.76.	8h.	38	150	starb	—
			9 1/4	„			
			11	„			
			12 1/2	„			
II.	5	Wie Versuch I.				7h. Abds.	0,234.
III.	6	17.VII.76.	10h.	38	150	7	0,557.
			11	„			
			12 1/4	„			
			1 1/2	„			
IV.	6	Wie Versuch III.				7 3/4	0,578.

Das ungünstige Resultat von Versuch I rührt davon her, dass zu concentrirte Glycerinlösung gegeben wurde. Auf die tödtliche Wirkung des Glycerins, wenn es in grösseren Mengen eingegeben wird, ist schon von *Luchsinger*, ganz neuerlich wieder von *Ustimowitsch* aufmerksam gemacht und erkannt, dass es auflösend auf die rothen Blutkörperchen wirkt: es tritt Hämaturie auf. Bei Versuchsthier I und II kamen wässerige Stühle: auch Pupillenerweiterung wurde constatirt.

Schon vorher war (bei Versuchen, die in der Tabelle nicht citirt sind) der letale Ausgang bei verschiedenen Thieren, die grosse Dosen concentrirter Glycerinlösung bekommen hatten, beobachtet worden.

Bei Versuch I und II waren 50 c. c. käufliches Glycrin zu 310 c. c. Lösung verdünnt, bei Versuch III und IV 40 c. c. zu 310 c. c. Lösung.

4. Tabelle: Kaninchen mit Mannit gefüttert.

No. des Versuches.	Vorausgeg. Hungerzeit Tage.	Tag und Zeit der Fütterung.		Menge in c. c.	Gesammt-menge.	Zeit der Tödtung.	Glycogen gefunden in Grammen.
I.	6	6. VII. 76.	8h. 9½ 11 12¾	38 " " "	150	7h.	—
II.	6	Wie Versuch No. I.				7½	Spur.
III.	6	21.VII.76.	9h. 10½ 11¼ 12¾	30 " " "	120	6	Spur.
IV.	6	Wie Versuch III.				7½	0,135.

Es wurde bei Versuch I und II 20 gr. Monnit, bei III und IV 16 gr. zu 150 c. c. Lösung gebracht.

5. Tabelle: Kaninchen mit Traubenzucker gefüttert.

Nr. des Versuchs.	Tag und Zeit der Fütterung.		Menge in C. c.	Gesammt-menge.	Zeit der Tödtung.	Vorausgeg. Hungerzeit Tage.	Glycogen gefunden in Grammen.
I.	30.VII.76.	10h. 11 12 2¼	38 " " "	150	6¼h.	6	1,432
II.	Wie Versuch I.				7	6	1,734
III.	9.VIII.76.			150	7	6	1,95

Bei diesen Versuchen waren 30 gr. Traubenzucker zu 150 c. c. Lösung gebraucht.

Die Resultate all' dieser Fütterungsversuche mit Kohlenhydraten stimmen mit denen anderer Experimentatoren auf diesem Gebiete gut überein.

Weiss findet bei Glycerin-Injectionen höhere Zahlen von Glycogen; dessen Versuchsthiere haben aber doch wohl nicht hinreichend gehungert: ihre Leber enthielt noch Glycogen bei Beginn der Glycerinfütterung.

Die Mannitversuche stimmen mit *Luchsinger*. *Salomon* erhielt unter 10 Mannitversuchen einigemale nennenswerthe Mengen von Glycogen (0,245): ich kann diese Abweichungen nicht erklären.

Durch Beobachtung verschiedener Thatsachen bei diesen Versuchen scheint uns so viel wahrscheinlich, dass die Zeit, welche zwischen der Zufuhr des Nahrungsstoffes und der Untersuchung der Leber auf Glycogen, das aus diesem Nahrungsstoff entstehen soll, liegt, wohl beachtet werden muss.

Die verschiedenen Stoffe brauchen zu den Umänderungen, die sie schon im Darme erfahren, verschieden lange Zeit, und man dürfte vielleicht nicht das richtige Bild davon bekommen, wie leicht oder wie schwer ein Stoff zur Entstehung von Glycogen beiträgt, wenn man so ungefähr die gleichen Versuchsbedingungen auf alle anwendet. Da es uns hier nur darauf ankam, Glycogen von all' den verschieden genährten Thieren zu bekommen, so haben wir diese Angelegenheit nicht weiter experimentell verfolgt. Die Resultate der Untersuchung dieser Glycogene sollen später folgen nach Anführung der Versuche:

B. Einfluss der Fütterung mit Eiweiss auf die Glycogenbildung.

Bei diesem Abschnitte meiner Versuche werde ich etwas ausführlicher verweilen, da ich hier den meisten neuern Experimentatoren, die auf diesem Gebiete gearbeitet haben, wiedersprechen werde.

Die ältere Ansicht über unsere Frage hatte mit aller Entschiedenheit ausgesprochen, dass bei Eiweissfütterung Glycogen in der Leber auftrete (*Cl. Bernard* und *Naunyn.*) Diese Versuche

sind in neuerer Zeit auf ihre Beweiskraft hin angefochten worden, indem man sagte, dass das Fleisch, welches von *Bernard* und *Naunyn* verfüttert war, Dextrin, Glycogen und Jnosit enthalte, also Kohlenhydrate genug. um das auftretende Glycogen von diesen letzteren ableiten zu können, ausserdem aber auch noch leimgebendes Gewebe in dem Bindegewebe, das nach *C. Bernard*[1]) und *Luchsinger*[2]) bei Fütterung per os ebenfalls Glycogen in der Leber auftreten lässt.

Von *Tscherenoff*[3]), *Luchsinger* und *Weiss* wird dem reinen Eiweiss die glycogenvermehrende Wirkung vollständig abgesprochen: sie „alle fanden gerade Fibrinfütterung und hungern lassen in diesem Punkte gleichbedeutend."

Glycogenbildung auf Fibrinfütterung hatte *M.Donnell* behauptet.

Kaninchen sind für Fibrinversuche und für Eiweissversuche überhaupt ungünstige Thiere, weil bei ihnen der Magen und Darm auch nach langem Hunger nie leer wird, sondern zuletzt wenigstens noch mit Pflanzenresten, und viel zäher Flüssigkeit angefüllt ist. Eine hereingebrachte Flüssigkeit wird leicht resorbirt werden können; wie es dagegen mit den Eiweisskörpern, besonders mit Fibrin ergeht, davon kann man sich durch Autopsie post mortem leicht überzeugen: die Fibrinflocken, die man den Thieren mit Pincetten tief in den Rachen heruntergeschoben hat, liegen nach Stunden sogut wie unverändert im Magen. Ueber die verdauende Kraft des Magensaftes von Pflanzenfressern auf reine Eiweisskörper sind ja unsere Kenntnisse noch sehr lückenhaft. Es kann desshalb wirklich Fibrinfütterung vollkommenem Hunger gleich sein, dann nämlich wenn nichts davon verdaut wird. Trotzdem glaube ich wird man auch bei Kaninchen, wenn man nur die Versuchsbedingungen noch anders wählt, durch Fibrinfütterung die Leber glycogenhältig machen können.

Dass bei Fleischfressern durch Fibrindarreichung reichliche Mengen von Glycogen in der Leber auftreten, zeigen die weiter unten stehenden Versuchsangaben.

Günstiger wirkt schon das Hühnereiweiss als Glycogenbildner bei Pflanzenfressern.

---

[1]) Diese Behauptung noch vor kurzer Zeit von *C. Bernard* wiederholt: Revue scientifique 1873, Nr. 49, pag. 1160.

[2]) l. c.

[3]) Wiener acad. Sitzungen Band LI. *Virchow*'s Archiv Bd. XLVII.

6. Tabelle: Kaninchen mit Fibrin gefüttert.

No. des Versuchs.	Hungertage und Fütterung.	Tag und Zeit der Fütterung.		Menge.	Zeit der Tödtung.	Glycogen in Gramm.
I.	6	19.VII. 76.	—	nicht bestimmt.	Ende des 7. Tages.	0
II.	6	„	—			Spur.
III.	6	21.VII. 76.	—		starb.	—
IV.	6	„	—		Ende des 7. Hunger-tages.	0
V.	6.	„	—			Spur.

7. Tabelle: Kaninchen mit Hühnereiweiss.

No. des Versuches.	Hungertage vor Beginn der Fütterung.	Tag und Zeit der Fütterung.		Was gegeben.	Summe.	Zeit der Tödtung.	Glycogen in Gramm.
I.	5	22.VII. 76.	22. an 8h. pm. 1 „ 6 23. am 9 pm. 1 „ 4	1 Eiweiss „ „ „ „ „	6 St. Eier.	Ende des 7 Versuchs-tages.	0,174.
III.	5	27.VII. 76.	27. u. 28. 6 mal wie I.	1 Eiweiss	6 St. Eier.	wie I.	0,098.
II.	5	ganz wie I.					0,212.
IV.	5	Wie Versuch III.					0,482.

Gegen die Versuche dieser Reihe kann man einwenden, dass Hühnereiweiss Traubenzucker enthält, so dass also das Resultat

doch nicht einwurfsfrei ist. Es wurde darum vor Allem der Zuckergehalt des Eiweisses bestimmt, der sich im Mittel aus den Analysen von 25 Eiern zu 0,08 bis 0,09 gr. für 1 Weisses ergab.

Darauf wurde durch Fällen des Hühnereiweisses mit Weingeist, Waschen etc., der Traubenzucker vollständig entfernt und mit so präparirtem Eiweiss nochmals eine Versuchsreihe an Kaninchen angestellt.

8. Tabelle: Kaninchen mit Hühnereiweiss.

No. des Versuches.	Hungertage vor Beginn der Fütterung.	Tag und Zeit der Fütterung.		Was gegeben.	Zeit der Tödtung.	Glycogen in Gramm.
I.	$4^{1}/_{2}$	28.VII.76.	3 mal täglich je 1 Ei.	9 Eiweisse.	Ende des 7. Versuchs-tages.	0,142.
II.	$4^{1}/_{2}$	Wie Versuch I.				0,234.
III.	$4^{1}/_{2}$	„	„		„	0,312.
IV.	5	3.VIII.76.		5 Eiweisse.	starb.	—
V.	5	3.VIII.76.		10 Eiweisse	Am 8. Versuchstage.	0,392.

Diese Versuche sprechen dafür, dass auch bei Pflanzenfressern durch Zufuhr von Eiweiss Glycogen in der Leber gebildet wird. Oben schon sind die Gründe erwähnt, die ja theilweise mechanischer Art sind, wesshalb bei Pflanzenfressern und spec. bei Kaninchen ein negatives Versuchsergebniss durchaus noch nicht als Beweis für die Untauglichkeit der Eiweisskörper zur Glycogenbildung gelten können.

Die Mengen von Glycogen, die bei den Versuchen der Tabelle 8 unter günstigen Versuchsbedingungen gefunden wurden, sind allerdings noch lange nicht solche, wie man sie bei Trauben-Zuckerinjectionen beispielsweise antrifft.

Wenn man desshalb unzweideutige Resultate erlangen will, ist es nothwendig an Fleischfressern zu experimentiren. Ich nahm Hunde und Katzen und als Futter nur Fibrin, gerade

weil mit diesem Stoffe in der letzten Zeit am meisten experimentirt ist.

Das Fibrin wurde aus Ochsenblut vom Schlachthause genommen und unter dem Wasserstrahl so lange gewaschen, bis es vollständig weiss war. Die verfütterten Mengen wurden täglich neu bereitet und mit Kochsalz bestreut dem Hunde vorgesetzt, der es gewöhnlich gern nahm. Mit Katzen führte der gleiche Versuch zu einem weniger günstigen Resultate, weil diese das Fibrin entweder gänzlich unberührt lassen oder es doch wenigstens nur mit offenbarem Widerwillen, und darum sehr wenig frassen.

Bekanntlich dauert es bei Fleischfressern viel länger, die Leber durch Hunger glycogenfrei zu erhalten, als bei Pflanzenfressern. Noch nach 14 Hungertagen fand *Luchsinger* beträchtliche Mengen Glycogen in der Hundeleber und selbst nach drei Wochen die letztere nicht absolut frei.

Andere Beobachter geben allerdings weit kürzere Zeiten an: *Goldstein* fand bei einem Hunde nach 6 Hungertagen schon die Leber glycogenfrei, *Strokowsky* nach 8 Tagen.

Natürlich wurden für die eigenen Versuche die längsten Termine nach den gutübereinstimmenden Angaben von *Bernard*, *Heynsius und Luchsinger* angenommen und die Versuche so eingerichtet:

9. Tabelle: Hunde mit Fibrin gefüttert.

No. des Versuches.	Beginn der Hungerzeit.	Gefüttert am	Gefüttert mit: gr. Fibrin.	getödtet.	Glycogen in Leber: Gramme:
I.	8. VII. 76.	22. VII.	1500	6. VIII. 76.	
		23. VII.	750		
		24. VII.	1500	29 Versuchstage.	
		26. VII.	900		12,23.
		27. VII.	unbestimmt.		
		28. VII.	unbestimmt.		
		30. VII.	700		
		1. VIII.	nicht gegeb.		
		2. VIII.	600		
		4. VIII.	1500		
		5. VIII.	800		
II.		Ganz wie Versuch I.			11,842.

9. Tabelle: Hunde mit Fibrin gefüttert.

No. des Versuches.	Beginn der Hungerzeit.	Gefüttert am	Gefüttert mit: gr. Fibrin.	getödtet.	Glycogen in Leber: Gramme.
III.	4. X. 76.	18. X. 76.	700	29. X. 76. 25. Versuchstag.	8,571.
		19. „	500		
		20. „	800		
		„	750		
		„	1000		
		„	600		
		„	500		
		„	800		
		„	1200		

Die zwei ersten Thiere hatten also 14 Tage, der dritte Hund 13 Tage gehungert vor Darreichung irgend welcher Nahrung: dann wurde an bezeichneten Tagen Fibrin gegeben: das eingesetzte Gewicht bezieht sich auf feuchtes ausgepresstes Fibrin: dessen Trockengehalt beträgt im Mittel 78.87 % des feucht erhaltenen Gewichtes. Die 2 ersten Thiere haben also beiläufig insgesammt je 6,51 Kilogr., der dritte 4,50 Kilogr. Fibrin erhalten.

10. Tabelle: Katzen mit Fibrin gefüttert.

No. des Versuchs.	Beginn der Hungerzeit.	Gefüttert am	Gefüttert mit: gr. Fibrin.	getödtet.	Glycogen in der Leber: Gramme.
I.	5. X. 76.	18. X.	500	25. X. 76. 20. Versuchstag.	1,684.
		20. „	600		
		22. „	400		
		23. „	500		
		24. „	—		
II.	8. X. 76.			28. X. 76. 20. Versuchstag.	1,913.

Ich habe schon oben erwähnt, dass Katzen viel schwerer zur Annahme von Fibrin zu bringen waren. Zwei weitere Versuchsthiere verweigerten die Annahme vollständig und starben am 16. und 15. Tage der absoluten Carenz.

Da die Thiere vorher gut genährt und vollständig gesund waren, so lässt sich schon aus diesem Faktum mit grosser Wahrscheinlichkeit folgern, dass bei Katzen in kürzerer Zeit das Glycogen aus der Leber schwindet als bei Hunden.

Die Zahlen der 9. Tabelle beweisen deutlich, dass reine Eiweissnahrung bei Fleischfressern, wo eben das Eiweiss auch wirklich verdaut und assimilirt wird, zur Bildung und Anhäufung von Glycogen in der Leber dient. Gegen die Versuchsanordnung, die mir gerade so die günstigste scheint, wird man keinen Einwand erheben, wenigstens nicht vom Standpunkte derer, die hungern lassen und Fibrin füttern als identisch für den Glycogengehalt der Leber bezeichnen. Das Vermögen der Eiweisskörper, Glycogen zu erzeugen, geht aus folgendem *Bernard*'schen Versuche noch hervor. Eier von Fliegen auf Fleisch gesetzt, entwickeln sich bald zu Maden, die sich dann vom Fleische ernähren. Lässt man diese Thiere durch einige Zeit wachsen, tödtet und untersucht sie dann, so findet man grosse Mengen von Glycogen in ihnen.

C. Die Untersuchung der bei den verschiedenen Fütterungsarten gewonnenen Glycogene.

Die Glycogene, die man von den verschieden behandelten Thieren gewinnt, zeigen vollständige Uebereinstimmung in den allgemeinen physikalischen Eigenschaften, Färbung mit Jod, Opalescenz, Umwandelbarkeit beim Kochen mit Säuern und Behandeln mit Fermenten in Substanzen, die die *Fehling*'sche Lösung reduciren, also in Zucker. Da die Hilfsmittel unserer Untersuchungsmethoden leider weitere Fragen uns noch nicht zu beantworten gestatten, so untersuchte ich von den gewonnenen Glycogenarten folgende Verhältnisse: die specifische Drehung der Glycogene selbst; die specifische Drehung des aus diesen Glycogenen durch hydrolytische Spaltung darstellbaren Zuckers; endlich die absoluten Mengen des aus bestimmtem Glycogenquantum darstellbaren Zuckers.

Ueber die ersten beiden Punkte liegen von *Luchsinger* Angaben vor, der die specifische Drehung des Glycogens von Levolusen- und Glycerinthieren gleich fand, und ausserdem constatirte, dass beide durch Kochen mit Säuren in Körper verwandelt werden, die die Polarisationsebene nach rechts drehen.

Zur Bestimmung der specifischen Drehung benutzte ich den Apparat von *Soleil-Ventzke.* Gewonnene Mengen der trockenen Glycogenarten werden in bestimmter Menge von Wasser gelöst und darauf die erhaltene Lösung in ein Decimeter langer Schicht untersucht. Die Mittel aus je 10 Bestimmungen stimmen vorzüglich mit einander überein [1]): die Mittel von mehreren solchen Reihen geben die unten stehenden Zahlen.

Es wurde gefunden die spezifische Drehung

von Traubenzucker	—Glycogen	zu	+ 173°
Levulose	„	„	+ 168°
Glycerin	„	„	+ 160°
Eiweiss	„	„	+ 163°

Diese Zahlen stimmen unter sich so gut überein, dass man die Unterschiede von Beobachtungsfehlern ableiten kann; wir erhielten wenigstens so grosse Unterschiede, wie sie hier für die verschiedenen Glycogenen angegeben sind, auch bei wiederholter Untersuchung der gleichen Glycogenart. Das Eiweissglycogen ist vom Hunde. Allerdings stimmen diese Zahlen nicht, dem absoluten Werthe nach, der daraus für die specifische Drehung des Glycogens resultirt, mit *Luchsinger*'s Angaben zusammen. Worin dieser Unterschied begründet ist, kann ich nicht angeben, da mir ein *Wild*'scher Polarisationsapparat zu Controlversuchen nicht zur Verfügung stand, *Luchsinger* aber mit letzterem Instrumente arbeitete. Die absolute Grösse der gefundenen Zahlen stimmt gut überein mit *Hoppe-Seyler's* Angabe, der die spezifische Drehung des Glycogens ungefähr dreimal so gross, wie die der Dextrose angibt. Da es

1) Es scheint interessant genug, darauf aufmerksam zu machen, dass die Bestimmungen verschiedener Personen mit dem Apparate von *Soleil-Ventzke* oft merklich von einander abweichen, während die Versuchsreihen der gleichen Person vorzüglich zusammenstimmen.

mir nur auf die Vergleichung des specifischen Drehungsvermögens der einzelnen Glycogene ankam, so habe ich mit dem obigen Resultate mich begnügt. Es besitzen also die verschiedenen Glycogene das gleiche specifische Drehungsvermögen von etwa + 168°.

Die Ueberführung des Glycogens in Zucker geschah nach den gewöhnlichen, hiefür angegebenen Methoden. Dabei zeigten sich sehr merkwürdige Verhältnisse, sowohl hinsichtlich der absoluten Mengen des gefundenen Zuckers als der specifischen Drehung, welche die in verschiedener Weise behandelte Glycogenlösung zeigte. Ich werde darum meine Versuche in extenso mittheilen.

Zuerst wurde Glycogenlösung mit Salzsäure versetztund unter Ersatz des verdunstenden Wassers 4—6h. damit gekocht. Dabei wurde in einem der ganz gleichartig verlaufenden Versuche folgende Resultate erhalten. Der Zucker wurde mit *Fehling*'scher Lösung austitirt.

Eiweissglycogen 0,342 gr. gaben 0,195 Zucker (51,3%).
Glyceringlycogen 0,43 gr. gaben 0,27 Zucker (56,3%).
Traubenzuckerglycogen 0,513 gr. gaben 0,26 Zucker (45,6%).

Das Glycogen besitzt die empirische Formel $C_6 H_{10} O_5$: bei seinem Uebergange zu Traubenzucker wird Wasser aufgenommen, d. h. es wird $C_6 H_{10} O_5 + H_2O = C_6 H_{12} O_6$ oder 162 Gewichtheile Glycogen müssen geben 180 Gewichtstheile Traubenzucker nach obiger Formel.

Nach diesem ersten Resultate wurde, weil beim Kochen mit Säuren eine gelbliche Verfärbung der Flüssigkeit durch Einkochen an den Randstellen nie zu vermeiden war, was die Bestimmung mit dem Polarisationsapparate besonders erschwerte, in Zukunft immer die Umsetzung durch Speichel vorgezogen; das Glycogen wurde dabei in ein Wasserbad, das auf etwa 40°C. constant erhalten wurde, eingesetzt.

Ein Versuch ergab:
Traubenzuckerglycogen 0,201 gr. gaben 0,1 Zucker (45,4%).
Eiweissglycogen 0,405 gr. gaben 0,2 Zucker (44,4%).
Leyuloseglycogen 0,283 gr. gaben 0,15 Zucker (48,4%),

Die Digestion mit Speichel hatte 14h. gedauert: der Zucker war schliesslich mit *Fehling*'scher Lösung austitrirt worden.

Bei dieser Versuchsreihe, wo die äusseren Umstände gleichartiger waren, sind die procentisch erhaltenen Mengen von der hypothetisch verlangten maximalen Zuckermenge schon sehr gut übereinstimmend. Bedenkt man, dass schon durch verschieden rasches und verschieden starkes Austrocknen die Geschwindigkeit, mit der das bezügliche Glycogen dann in Zucker übergehen wird, sehr wesentlich ändern kann, so sind die erhaltenen Zahlen sicher eine Stütze für die Gleichartigkeit der erhaltenen Glycogenarten.

Also bei 14stündiger Digestion mit Speichel ist noch nicht die Hälfte des Zuckers, der eigentlich entstehen sollte, entstanden.

Es wurde dann von der gleichen Glycogensorte eine grössere Menge von Lösung bereitet und bestimmte Theile davon verschieden lange Zeit mit Speichel bei 40°C. digerirt.

Das Resultat war:

Traubenzuckerglycogen:	0,296	nach	30h.	0,20	Zucker	(60,6%).
„ „	0,296	„	46	0,21	„	(64%).
„ „	0,296	„	78	0,232	„	(70,3%).
Eiweissglycogen:	0,384	„	30	0,295	„	(68,6%).
„ „	0,384	„	46	0,30	„	(69,8%).
„ „	0,384	„	78	0,32	„	(74,4%).

Leider war durch diese und andere Versuche der Vorrath an Glycogen erschöpft, so dass nicht festgestellt ist, ob endlich durch fortgesetzte Digestion mit Speichel wirklich die hypothetisch verlangte Zuckermenge erhalten werden kann. Nach den letzten Versuchen ist dies sehr wahrscheinlich. Immerhin ist es merkwürdig, wie schwer Speichel (der bei angestellter Probe auf Stärkekleister sehr gut wirkte) und verdünnte Salzsäure das Glycogenmolecul (oder vielleicht das entstandene Dextrin?) saccharificiren.

Die specifische Drehung all' der mit hydrolytischen Agentien behandelten Glycogenlösungen war zu allen Zeiten stark rechtseitig: mit dem Fortschreiten der Zuckerbildung nahm die + spezifische Drehung stets ab. Beispielsweise war für eine bestimmte, noch durchaus unveränderte Glycogenlösung in 1 Decimeter langer Schicht die Abweichung + 3,75 gefunden worden: nach 30 stündiger Digestion mit Speichel gab diese Lösung auf gleiche Concentration gebracht jetzt + 2,49, nach 46 Stunden noch + 2,21, nach 78 Stunden endlich noch + 2,07.

Da die specifische Drehung des Glycogens nach den oben gefundenen Zahlen ungefähr dreimal so gross wie die des Traubenzuckers ist, so kann man die nach theilweiser Umsetzung des Glycogens in Traubenzucker noch vorhandene specifische Drehung unter bestimmten Annahmen berechnen. Nimmt man nämlich an, das noch nicht zu Zucker umgesetzte sei Glycogen geblieben (eine sehr unwahrscheinliche Annahme), so würde die Versuchsreihe: Traubenzuckerglycogen (vorige Seite: dazu gehören die oben angegebenen in Versuch gefundenen specifischen Drehungen) folgende Zahlenwerthe nach dem Gehalte an Dextrose und (hypothetischem) Glycogen für die specifische Drehung berechnen lassen.

Die ursprüngliche Lösung des Glycogens ergab die Stellung des 0-Punktes der Scala auf + 3,75: die Lösung, die 60% des verlangten an Zucker enthielt, musste drehen: $0{,}4 \times 3{,}75 + 0{,}6 \times 1{,}25 = + 2{,}25$: es ist aber gefunden, + 2,49: In dem Zeitmomente, wo die Lösung 70% Zucker enthält, musste die Drehung sein $0{,}3 \times 3{,}75 + 0{,}7 \times 1{,}25 = + 2{,}0$: die wirklich gefundene Drehung ist aber + 2,07: d. h. die wirklich gefundene Drehung ist grösser, als sie unter der Annahme wäre, das noch nicht in Zucker verwandelte sei Glycogen geblieben. Diese Annahme ist, wie oben schon bezeichnet, unwahrscheinlich, nicht so sehr desshalb, weil mit Speichel durch einige Zeit behandelte Glycogenlösung bestimmte Reactionen des Glycogens nicht mehr gab, sondern weil es unsern chemischen Anschauungen widerspricht, anzunehmen, das Glycogenmolecul zerfalle von Anfang an glatt in lauter Zuckermolecule. Wahrscheinlich entsteht aus Glycogen zunächst ein Glycose + 1 Dextrin [oder dem Dextrin verwandtes Molecul, (natürlich unter Wasseraufnahme][1]. Nun dreht aber Dextrin schwächer als Glycogen (die spec. Drehung ist + 138,5): dafür wird aber dies minus ausgeglichen dadurch, dass Traubenzucker eigentlich stärker dreht als + 56°: es ist nämlich das eigentliche Rotationsvermögen der Dextrose gleich + 104 (ganz entsprechend dem der Levulose, welches ist — 104°) und erst die einige Zeit in Lösung befindliche Dextrose erniedrigt ihr Rotationsvermögen continuirlich, bis es bei + 56°

[1]) Dies für das Stärkemehl sehr wahrscheinlich gemacht durch Musculus: (Anal. d. ch. et ph. (3) 60. 203 u. (4) 6. 177. Citat bei *Fittig*: Constitution der Kohlenhydrate: Tübingen, Fucs, 1871. und *Schulze* B. B. VII. 1047.

constant wird. Da wir nun vorderhand noch durchaus nicht wissen, was eigentlich das Drehungsvermögen der durch eine hydrolytische Spaltung eben entstandenen Dextrose ist, und die obigen Versuche direct darauf hinweisen, dass es grösser als + 56° sein muss, weil sonst die obengefundenen Zahlen nur durch zu gezwungene Annahmen erklärbar sind, so folgt, dass wir aus der specifischen Drehung unserer Lösungen messende Folgerungen nicht ziehen dürfen. So viel geht indess unzweifelhaft aus den obigen und weiteren hier nicht mitgetheilten Zahlen, von anderen veränderten Glycogenlösungen, die ganz übereinstimmende Werthe ergeben haben, hervor, dass die aus den verschiedenen Glycogensorten durch hydrolytische Spaltung erhaltenen Produkte stark rechtsdrehend sind.

Es folgt also aus den in diesem Abschnitte mitgetheilten Versuchen, dass höchst wahrscheinlich alle Glycogene, die man bei Fütterung verschiedener Nahrungsstoffe in der Leber antrifft, identisch sind und die gleichen Zersetzungsprodukte liefern.

Ueber die Bildung des Glycogens.

In der Einleitung wurden die verschiedenen über die Entstehung des Leberglycogens aufgestellten Theorien angeführt, die man kurz bezeichnen kann als:

1) Anhydrisirungstheorie — directe Bildung aus Kohlenhydraten;
2) Ersparnisstheorie — Bildung aus Eiweissstoffen resp. deren Umsetzungsprodukten;
3) *Schiff*'s Theorie — Bildung aus Material, das von den Muskeln der Leber zugeführt wird (Jnosit).

Dass wir trotz aller Versuche über die ersten Grundfragen dieses Kapitels noch nicht aufgeklärt sind, zeigt die kurze Besprechung derselben. Offenbar muss man annehmen, dass sowohl durch die Zufuhr von Kohlenhydraten als von Eiweiss die Bedingungen zur Entstehung von Glycogen in der Leber gegeben sind, denn dies letztere ist ja in Thieren nach dieser Nahrung angetroffen worden, deren Leber sicher durch Hunger vorher glycogenfrei war. In welches Gedränge man kommt, wenn man anfängt, quantitativ unsere Versuchsergebnisse zu analysiren, zeigt das folgende Experiment.

Ein Hund, der 8 Tage lang nur mit Fleisch genährt war, bekam am 9. Tage morgens 90 gr. Traubenzucker, Abends 80 gr., am 10. Versuchstage morgens 100 gr.: darauf wurde er um 1$^{h.}$ durch Verbluten aus den Carotiden getödtet: die Leber sofort untersucht zeigte einen Glycogengehalt von 7,65 gr.

Nach der Anhydritbildungstheorie waren hier die denkbar günstigsten Bedingungen für die Entstehung von Glycogen gegeben und doch zeigte der Hund, der die der Tabelle 9 an Körpervolumen alle übertraf, weniger Glycogen in der Leber als alle, die nur mit Fibrin gefüttert waren. Der einzelne Versuch kann allerdings, da man ja gerade bei Glycogenversuchen manchesmal Ausnahmefälle, die gegen alle Regeln verstossen, antrifft, nichts endgiltiges beweisen, aber er fordert doch wenigstens zu neuer Prüfung unserer Hypothesen auf.

Die Ersparnisstheorie lautet eigentlich in ihrer milderen Form: Glycogen bildet sich auf Kosten von Eiweissderivaten, aber eine Anhäufung kommt nur zu Stande, wenn durch eine grössere Zufuhr von Kohlenhydraten oder anderen leicht oxydirbaren Moleculen das Glycogen unversehrt erhalten wird, durch Eintreten der ersteren in die Funktion des Glycogens. Einmal widerspricht diese Ansicht physiologischen Grundanschauungen über die Oxydation im Blute, zum andern ist sie widerlegt durch die Versuche, welche bei Variirung dieser sog. leicht verbrennlichen Molecule Glycogen nur auf Zucker und Glycerinfütterung hin, aber nicht z. B. durch Zufuhr von organischen Säuren auftreten sahen: dann sprechen direkt dagegen die obigen in Tabelle 9 verzeichneten Fibrinversuche.

Endlich könnte man sich nach den Ansichten *Schiff*'s etwa denken, das Glycogen entstehe nicht direkt aus den nächsten Umsetzungsprodukten der in den Darm eingeführten Nahrung, sondern aus einem einzigen Stoffe, der sich durch Vermittlung all der eingeführten Nahrungsstoffe im Organismus selbst erst bilde. Es ist nicht abzusehen, wie man damit die Schwierigkeit umgangen haben will, aus so verschiedenem Bildungsmaterial dasselbe Glycogen entstehen lassen zu müssen. Denn die Frage ist damit nur nach Zeit und Ort anders modulirt: und die Schwierigkeit, die Bildung eben dieses einzigen Glycogenerzeugers zu verstehen, bleibt ganz dieselbe. Allerdings könnte man sich auf Grund dieser Vorstellung einer beständigen Zufuhr des

Bildungsmaterials für das Glycogen die Beobachtung erklären, dass man auch nach langer Abstinenz Glycogen findet.

Nimmt man an, dass das Glycogen beständig aus der Leber schwinde, indem es zu Zucker umgebildet wird, und betrachtet man auf der andern Seite die doch geringen Mengen von Glycogen, die man jeweilig unter den günstigsten Umständen in der Leber findet, so kommt man zu dem Schlusse, dass diese Glycogenmenge doch nur kurze Zeit (höchstens wenige Tage) zur continuirlich fortgehenden Zuckerbildung ausreichen wird. Man findet aber viel länger Glycogen: d. h. dieses wird nicht blos unmittelbar zu Zeiten der Nahrungsaufnahme gebildet.

Auf der andern Seite, wie grosse Mengen von Zucker werden bei reichlicher Zufuhr assimilirt und wie gering ist die Menge des gefundenen Glycogens: der Zucker ist nicht vollständig zerstört in der kurzen Zeit, man findet auch nicht im Blute soviel, dass mit den andern Summanden die richtige Summe herauskäme: er muss noch sonst irgendwo in den Geweben (und nicht bloss als Muskelglycogen) untergebracht sein.

Die merkwürdigen Versuchsresultate *Schiff*'s, der bei überfirnissten Thieren, je nachdem er sie abkühlte oder erwärmte, bald kein Glycogen in der Leber fand, dann aber wieder welches antraf, passen doch nur auf eine Hypothese, die das Glycogen auch ausserhalb der Zeit der Nahrungsaufnahme in der Leber entstehen lässt.

Schicksale des Glycogens.

In der Einleitung sind die Versuche von *Bernard* erwähnt, welche die zuckerbildende Funktion der Leber beweisen sollen, diese Versuche bildeten ja den Ausgangspunkt der Lehre vom Glycogen überhaupt. Die in der Einleitung angeführte Tabelle ist nach ältern und neuern Versuchen *Bernard*'s zusammengestellt. Gegen die *Bernard*'sche Lehre von der Zuckerbildung in der Leber trat *Pavy* auf, der das Glycogen normaler Weise nicht zu Zucker zurückverwandeln lässt: *Pavy*'s Lehre ist merkwürdiger Weise von den meisten deutschen Physiologen angenommen worden.

Ich habe wegen dieses Widerstreites die Lebern meiner Versuchsthiere auch auf Zucker untersucht und immer solchen gefunden. Es seien die Resultate hier zunächst zusammengestellt.

Species des Versuchsthieres.	Nummer.	Zucker in der Leber.	Species des Versuchsthieres.	Nummer.	Zucker in der Leber.
Kaninchen	1	0,08.	Kaninchen	11	0,11.
„	2	0,09.	„	12	0,135.
„	3	0,105.	„	13	0,185.
„	4	0,107.	„	14	0,197.
„	5	0,132.	Hunde	1	3,578.
„	6	0,124.	„	2	3,12.
„	7	0,134.	„	3	3,02.
„	8	0,157.	„	4	2,18.
„	9	0,184.	Katze	1	1,13.
„	10	0,09.	„	2	1,57.

Tscherenoff hat noch Angaben über den Zuckergehalt der Leber gemacht: er nimmt an im Mittel 0,1% der frischen Lebersubstanz. Alle die vielen neuern Arbeiten enthalten darüber keine Angaben.

Pavy muss nur die negativen Funde bei seinen Versuchen berücksichtigt haben: er könnte sonst zu diesem Resultate nicht kommen. In den oben mitgetheilten Versuchen wurde so schnell wie dies überhaupt nur möglich ist die Leber in heisses Wasser gebracht. In dieser Zeit (von wenigen Sekunden) treten Leichenerscheinungen noch nicht ein. *Bernard* hat Recht, wenn er die Ansicht *Pavy*'s als irrig zurückweist. Das Thier stirbt nicht auf einmal in allen seinen Theilen. Nimmt man die obigen Glycogenmengen und hier die gefundenen Zuckermengen zusammen, so hiesse das, in einer Zeit von 10 bis 15 Sekunden sollen 20 bis 30 Procente der ganzen vorhandenen Glycogenmengen in Zucker umgesetzt sein. Nach den obigen Versuchsresultaten glaube ich unbedingt an die Präexistenz von Zucker in dem normalen Lebergewebe. Um die Herkunft dieses Zuckers des wässerigen Leberextractes zu bezeichnen, füge ich das Versuchsresultat bei, dass derselbe bei Fütterung mit Levulose rechtsdrehend gefunden wurde.

Die Einwände, die von Seiten der Hypothese *Pavy*'s gegen die *Bernard*'sche Theorie gemacht worden, sind hauptsächlich folgende:

1) die Unwahrscheinlichkeit der Annahme, dass Glycogen und Zucker an demselben Orte vice versa in einander übergeführt werden sollen;
2) Wenn Glycogen in Zucker übergehe, so müsste nach Analogie der Erscheinungen in Folge von Zuckerinjectionen ins Blut Diabetes auftreten;
3) das Vorhandensein von Glycogen in der Leber ohne Spuren von Zucker zu finden.

ad 1) Die Zweckmässigkeit der Einrichtungen — und damit soll ja hier etwas bewiesen werden — wie sie von den Gegnern *Pavy*'s interpretirt werden, ist doch eine vollkommene: die Leber hat den Zweck, die grossen Zuckermengen, die bei der Verdauung entstehen, zu fixiren, eben damit der Zuckergehalt des Blutes im grossen Kreislauf kein zu grosser werde und dann wirklich Glycosurie eintritt. Nach Bedürfniss des Organismus tritt dann der Zucker wieder allmählig in geringen Mengen von der Leber aus in's Blut. Einheit des Ortes braucht man, bemerkt *Luchsinger* mit Recht, desshalb nicht anzunehmen; die Vorgänge können räumlich getrennt auf Leberzellen und Leberblut vertheilt gedacht werden.

ad 2) Die normale Glychämie scheint durch so viele Versuche bewiesen, dass ich zu *Pavy*'s Einwand, der eben von seinen eigenen Versuchen nur die mit negativen Resultaten gelten lässt, mich nicht bekennen kann. Ich habe von dem Zuckergehalte des Blutes mich durch eigene Anschauung überzeugt. Dieser Zucker stammt nach *Bernard* von der Leber, dann noch von der Lymphe. Die Anwesenheit der Dextrose in der Lymphe ist schon von *Tiedemann* und *Gmelin* auf Grund von Versuchen behauptet: Diese Behauptung ist inzwischen von andern Experimentatoren wiederholt. Ich habe auch hievon selbst mir dadurch Gewissheit verschafft, dass ich in den Ductus thoracicus beim Kaninchen eine Kanule einsetzte und durch einige Zeit Lymphe auffing: die Lymphe gab starke Zuckerreaction.

Bernard hat die normale Glychämie als physiologische Thatsache bewiesen und auch deren Zusammenhang mit *Diabetes*

nach meiner Meinung vollständig aufgeklärt. Er sagt, dass der Zuckergehalt des Blutes eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, wenn nicht Glycosurie eintreten soll. Letztere Erscheinung tritt beim normalen Thiere ein, bei Injection von Zucker in's Blut, aber auch dann, wenn man sehr grosse Zuckermengen auf einmal (Rohrzuckersyrup) in den Darmkanal einführt. Es existirt also durchaus kein prinzipieller Unterschied in der Applicationsstelle des Zuckers hinsichtlich der Erzeugung von *Diabetes.*

ad 3) Die Beobachtung des Vorhandenseins von Glycogen in der Leber ohne Zucker ist eine äusserst seltene. *Pavy* gibt an, er habe einmal in der Leber eines Stockfisches (im Januar) viel Glycogen ohne eine Spur von Zucker gefunden und auch nach 2 stündigem Erwärmen auf eine Temperatur von 32° C. nur eben spurenweise Zuckerreaction bekommen. *Pavy* sagt selbst, dass hier das Ferment gefehlt habe, das normalerweise das Glycogen in Zucker umgewandelt habe. Dieses Ferment, das *Pavy* nur für den abgesorbenen Organismus annimmt, ist aber im normalen Blute enthalten. Dieses zuckerbildende Ferment ist schon von *Magendie* u. A. angenommen, seine Existenz aber besonders von *Tiegel* in neuerer Zeit wahrscheinlich gemacht worden. Ich habe den folgenden schon öfter angestellten Versuch mit positivem Resultate wiederholt.

Einem Kaninchen wurde 0,28 resp. 0,435 gr. Glycogen, in 30 C. c. halbprozentiger Kochsalzlösung gelöst, in die vena jugularis externa mit der Vorsicht eingespritzt, dass nur langsam die Menge in den Blutstrom übertrat. (Die Lösung wurde in eine Bürette gegeben und diese langsam gehoben.) Der Harn, den man eine Stunde nachher dem Thiere abpresste, war zuckerhaltig und noch 8 Stunden nach der Injection zeigte sich Zucker im Harn. Um den Einwand zu beseitigen, dass nicht die Wasserinjektion allein und die dadurch bedingte Blutdrucksteigerung Zuckerharnen erzeugt, werden einem Controlthiere einfach 30 C. c. halbprozentiger Kochsalzlösung auf dem gleichen Wege beigebracht: der Harn blieb normal.

Es ist also ein Ferment, das aus Glycogen Zucker bildet im Blute. Dieses Ferment kann unter gewissen Umständen

fehlen. *Schiff* zeigte, dass Winterfrösche wohl Glycogen, aber keinen Zucker in der Leber haben. Schon *Stannius* und *Weber* beachteten diesen Unterschied, dass im Winter die Froschleber dunkel gefärbt und blutleer wird, während sie im Sommer heller gefärbt erscheint und reich an Blut ist: hier findet man dann weniger Glycogen und viel Zucker. *Schiff* schreibt direct die hellere Farbe der Sommerleber dem Gehalte an Glycogen, nicht dem Blutreichthum zu. Möglicherweise ist in diesem Sinne *Pavy*'s Beobachtung am Stockfisch, die ihm so merkwürdig erschien, zu erklären.

Endlich will ich noch eines Versuches erwähnen, der den zeitlichen Uebergang des Glycogens in Zucker demonstrirt.

Eine Hundeleber von 670 Gr. Gewicht wurde in verschiedene Theile zerschnitten. Ein Theil bald nach dem Tode des Thieres untersucht, ergab (auf die ganze Leber berechnet) 3,02 Gr. Zucker und 7,65 Gr. Glycogen. Nach drei Tagen zeigten 90 Gr. des Ueberrestes (im Zimmer bei 13^0 C. aufbewahrt) einen solchen Zuckergehalt, dass darnach die ganze Leber 11,32 Gr. Zucker enthalten hätte. Nun geben 7,65 Gr. Glycogen 8,5 Gr. Traubenzucker: nach dem ersten Versuche wären also, wenn alles Glycogen zu Zucker geworden, $3{,}02 + 8{,}5 = 11{,}52$ Gr. zu erwarten gewesen. Es sind wirklich gefunden 11,32 Gr.

Am 5. Tage wurde in einem letzten Leberstücke Zucker in solcher Menge gefunden, dass auf die ganze Leber 10,6 Gr. Zucker gekommen wäre. Diese Zahlen finden ihre ungezwungene Erklärung in der Annahme, dass das Glycogen in der Leber vollständig in die theoretisch verlangte Zuckermenge (in dem Leberstücke, das 3 Tage gelegen) übergegangen war. Nach 5 Tagen war ein Theil des Zuckers selbst schon weiter zersetzt (nach *Bernard*'s Annahme in Milchsäure).

Dieses Resultat ist insofern interessant, weil darnach das in der todten Leber thätige Ferment offenbar energischer wirkt, als Speichel und Kochen mit verdünnter Salzsäure.

Durch diese Agentien war es ja oben nicht möglich, in der Zeit bis über 3 Tage das Glycogen volltändig in Zucker überzuführen.

Auch *Pavy* gibt an, dass (innerhalb der ersten 24 Stunden) für im Mittel je 1.54 Theile verschwindender amyloider Substanz nur 1 Theil Zucker erscheine. Also geht auch wohl in der Leber

das Glycogen zunächst in eine Mittelstufe (Dextrin?) über, bevor es definitiv zu Traubenzucker wird.

Die Resultate der vorstehenden Versuche lauten demnach:

Kohlenhydrate und Eiweisskörper können gleich gut zur Anhäufung von Glycogen in der Leber beitragen.

Das Glycogen, das sich in der Leber bei Zufuhr verschiedener Nahrungstoffe anhäuft, ist stets derselbe Körper.

Dessen Zweck ist, in der Leber in Zucker zurück verwandelt zu werden.

Da ich die vorstehende Arbeit auf Veranlassung des Hrn. Dr. *Kunkel* begonnen habe und dessen Unterstützung dabei in Anspruch nahm, so halte ich es für meine Pflicht, ihm meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln.

Von

A. EUGEN FICK,

Assistent am physiolog. Laboratorium

und

E. WEBER,

stud. med.

I. Theil.

(Mit Tafel XVI.)

Von allen Muskeln des menschlichen Körpers sind bis jetzt nur einzelne Gruppen in erschöpfender Weise auf ihre Function geprüft worden. Namentlich hat der Bewegungsapparat des Augapfels von je her allgemeines Interesse erregt und eine grosse Zahl von Untersuchungen hervorgerufen. In der überwiegenden Mehrzahl derselben wird das Auge vom Standpunkt der Muskelmechanik aus als eine Kugel betrachtet, die um ihren Mittelpunkt, nach allen Richtungen frei beweglich ist.

Es formulirte sich daher die erste Frage nach der Function eines Augenmuskels naturgemäss dahin, die Axe zu bestimmen, um welche der Muskel bei seiner Contraction den Bulbus zu drehen strebt. Offenbar wird man zur Beantwortung derselben Frage auch gelangen, wenn man seine Drehungsmomente um drei Axen bestimmt, die aufeinander senkrecht stehen und sich im Mittelpunkt der Gelenkkugel schneiden. Es lässt sich dann die Linie, um welche der Muskel den Bulbus zu drehen strebt, construiren als Diagonale eines rechtwinkligen Parallelipipeds, dessen Seiten in jenen Axen gelegen und den gemessenen Drehungsmomenten proportional sind.

Von demselben Gesichtspunkt aus die Wirkung der Schulterblatt-armmuskeln zu untersuchen, ist der Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Freilich ist der Stoff insofern undankbar, als man kaum hoffen darf, neue Thatsachen von grosser Bedeutung aufzufinden, seitdem ein Beobachter wie *Duchenne*[1]) die Function aller Körpermuskeln einer eingehenden Untersuchung unterworfen hat. Aber wenn auch auf der einen Seite das Lesen des classischen Buches „Physiologie des Mouvements" von *Duchenne* entmuthigend wirkt durch die Fülle von Thatsachen und Beobachtungen, die noch nicht in die Lehrbücher der Anatomie übergegangen sind, so fordert es andererseits wiederum zu neuen Versuchen heraus, wenn der Verfasser in der Einleitung erzählt, dass er seine jahrelange Arbeit eigentlich nur aus Neugierde und höchstens in der Hoffnung begonnen habe, allbekannte und anerkannte Thatsachen am lebenden Menschen demonstriren zu lernen. Statt dessen wurde er zu seiner eigenen Ueberraschung durch die systematisch ausgeübte „Faradisation localisée" gezwungen, den herrschenden Ansichten sehr häufig zu widersprechen und hatte die Genugthuung, auf zahlreiche Erscheinungen aufmerksam zu machen, die den bloss beschreibenden Anatomen entgangen waren.

So vortrefflich diese Arbeit mit ihren zahlreichen neuen Ergebnissen aber auch sein mag, so muss doch hervorgehoben werden, dass auf die Schwere und auf die Anfangsstellung des Gliedes in den meisten Versuchen wenig oder gar keine Rücksicht genommen ist. Es war daher auch von vorne herein zu erwarten, dass z. B. Muskeln, die zwei Gelenke überspringen, durch isolirte Contraction an dem höher (centraler) gelegenen nur geringe Ausschläge erzeugen würden, weil in diesem die Schwerkraft an einem viel grösseren Hebelarm die Ruhelage zu erhalten strebt, als an dem tiefer (mehr peripherisch) gelegenen Gelenke. Es wird also eine in der oben angedeuteten Art ausgeführte Untersuchung immerhin von Interesse sein, da die von *Duchenne* aufgestellten Behauptungen erst dann für unanfechtbar gelten können, wenn rein geometrische Betrachtungen zu denselben Ergebnissen führen, wie die von ihm benützte Methode der isolirten Reizung.

---

1) *Duchenne*, Physiologie des Mouvements. Paris 1867.

Ueberdiess kann die Methode *Duchenne's* nie zu eigentlich quantitativen in Zahlen ausdrückbaren Ergebnissen führen. Solche können nur durch streng geometrische Untersuchung am Präparate gewonnen werden.

Beginnen wir mit einer scharfen Begrenzung der Aufgabe. Durch den Mittelpunkt der Kugel, zu der man die Gelenkfläche des Humeruskopfes ergänzen kann, denken wir uns drei gerade Linien, die aufeinander senkrecht stehen. Bei natürlicher Ruhelage des Armes soll die eine den Mittelpunkt des Gelenkkopfes mit dem entsprechenden Punkt der andern Körperhälfte verbinden und die Axe für Flexion und Extension bilden. Die zweite liege mit ihr in einer Horizontalebene und stehe, wie schon gesagt, im Drehpunkt auf ihr senkrecht; sie soll die Axe für Ab- und Adduction sein. Die dritte endlich steht auf der Ebene der beiden ersten im Drehpunkt senkrecht, geht also gerade von oben nach unten und stellt die Axe für die sogenannten Rotationen des Humerus dar. Diese drei Axen sollen zugleich die Coordinatenaxen sein und zwar sei für den rechten Arm positive x-Richtung die vom Drehpunkt nach hinten gehende Gerade, positive y-Richtung die vom Drehpunkt nach unten und positive z-Richtung die nach links (also einwärts gehende) Gerade. Der Drehpunkt des Humeruskopfes ist also auch Ursprung des Coordinatensystemes. Es wäre nun für jeden der Schulterblattarmmuskeln zu bestimmen, wie gross der Theil seiner Kraft ist, mit welcher er bei einer bestimmten Totalleistung, den Humerus um jede der drei Axen zu drehen strebt, oder um es schärfer und in mechanischer Redeweise auszudrücken, es sind die Momente eines Muskels für Drehung des Humerus um jede der drei Axen zu bestimmen. So viel uns bekannt, ist bis jetzt nur einmal die Frage in dieser Form gestellt und beantwortet worden und zwar von *Ad. Fick*[1]) für die Muskeln des Hüftgelenks. Dieser Forscher löste seine Aufgabe durch rein geometrische Betrachtung mit Zirkel und Lineal in folgender Weise: Eine gut präparirte untere Extremität wurde mit ihrer Beckenhälfte in einem Rahmenwerk so aufgehängt, dass Verschiebungen der Knochen gegeneinander und gegen das Rahmenprisma unmöglich waren. Nun wurden

---

[1]) Statistische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels von *Ad. Fick*, Zeitschr. f. ration. Medicin 1848.

von einem festen Punkt des Raumes aus die rechtwinkeligen Coordinaten des Drehpunktes, der Muskelursprünge und der Muskelansätze gemessen. Damit war der experimentelle Theil der Arbeit beendet, und es liess sich jetzt auf rein mathematischem Wege berechnen, wie gross die drehenden Momente eines jeden der untersuchten Muskeln um drei aufeinander senkrechte Axen sind, die sich im Drehpunkt des Femurkopfes schneiden. Obgleich es auf diese Weise möglich ist, die drehenden Momente auch für jede neue Lage des Knochens auszurechnen, so schien es uns doch wünschenswerth, mit einer andern Methode zu arbeiten, die es gestatten sollte, die drehenden Momente eines Muskels ganz direct zu messen, auch wenn der letztere keinen geradlinigen Verlauf zwischen Ursprung und Ansatzpunkt haben sollte, eine Voraussetzung, ohne die sich die erstere Methode nicht anwenden liess. Zugleich hofften wir mit Hülfe der neuen Methode kürzer und sicherer zum Ziele zu kommen, als mit der, welche im Muster bereits vorhanden war. Diese letztere Hoffnung bewiess sich freilich als arge Täuschung; denn erst nach zahllosen Versuchsreihen und immer neuen und aber neuen Verbesserungen und Verfeinerungen der Messungsart gelang es, so unter sich übereinstimmende Resultate zu erzielen, dass sich eine Veröffentlichung derselben und eine Beschreibung der Methode rechtfertigen lässt.

Dieselbe bestand darin, die Verkürzungen zu messen, welche ein Muskel erleidet, wenn man den Humerus ein klein wenig um die erste der drei Axen, dann um die zweite und endlich um die dritte dreht. Es ist nämlich die Verkürzung, welche ein Muskel durch Drehung des Humerus um die Flexionsaxe erfährt, direct und einfach proportional seinem Flexionsmoment; die Verkürzung in Folge von Drehung um die Abductionsaxe proportional seinem Abductionsmoment und endlich die Verkürzung des Muskels durch eine Rotation des Humerus dem Rotationsmoment, alles jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Drehungswinkel unendlich klein sind. Diese Behauptung von der Proportionalität zwischen Verkürzung eines Muskels und seinem drehenden Moment ist zunächst streng und ganz allgemein zu beweisen.

Denken wir uns einen Punkt A (Fig.1, Taf.XVI) als Ansatzpunkt einesMuskels, dessen Zugrichtung und Spannung, durch die Liniengrösse P versinnlicht sein soll. Es ist dabei nicht nöthig, dass der Verlauf des Muskels von seinem Ursprung zu seinem An-

satzpunkt A geradlinig sei; er darf, ohne die Erörterung zu erschweren, krumm, etwa über eine Rolle verlaufen; die Richtung seiner Zugwirkung auf den Punkt A muss ja natürlich doch für jeden betrachteten Augenblick durch eine gerade Linie darstellbar sein. Die Lage des Punktes A im Raum sei durch drei aufeinander senkrechte Coordinaten x, y, z bestimmt. Die Richtung der Kraft P ist dann in der üblichen Zeichensprache der Mechanik durch Cos (P, x), Cos (P, y), Cos (P, z) gegeben, wo (P, x), P, y) und (P, z) die Winkel zwischen der Richtung P und den positiven Axen der x, y und z bedeuten. Endlich möge noch gleich im Voraus verabredet werden, dass eine Drehung des Punktes A um eine der drei Axen, z. B. um die x-Axe positiv genannt werden soll, wenn sie einem Beobachter im Sinne des Uhrzeigers zu erfolgen scheint, der sein Auge in die positive x-Axe setzt und nach dem Coordinatenursprung hinsieht. Es wäre nun zu berechnen

1) wie gross die drehenden Momente der Kraft P um die x-, die y- und die z-Axe sind, und

2) wie gross die Verkürzungen des Muskels P sind, wenn der Oberarm eine unendlich kleine Drehung um jede der drei Axen erfährt.

Die Berechnung der unter 1.) verlangten Momente, kann man sich füglich sparen, da sie in jedem Lehrbuch der Mechanik ausführlich entwickelt wird und desshalb als bekannt vorausgesetzt werden darf. Ihr Ergebniss sind drei Formeln:

(1) x. P. Cos (P, y) — y. P. Cos (P, x),

(2) y. P. Cos (P, z) — z. P. Cos (P, y),

(3) z. P. Cos (P, x) — x. P. Cos (P, z),

von denen die erste das drehende Moment der Kraft P um die z-Axe, die zweite für Drehung um die x-Axe und die dritte endlich für Drehung um die y-Axe ausdrückt.[1])

Die unter (2.) verlangte Berechnung der Verkürzung dagegen müssen wir ausführlich entwickeln. Zur Vereinfachung der Arbeit wollen wir annehmen, die Ebene der Figur I sei

[1]) Dem Leser wird es auffallen, dass in den Formeln (1.) (2.) und (3.) nicht, wie sonst in mathematischen Betrachtungen üblich, die alphabetische Reihenfolge der Buchstaben x, y, z eingehalten ist. Es hat diese ungewöhnliche Ordnung sich rein zufällig eingeschlichen und haben wir sie hernach nicht mehr ändern wollen, weil sonst zu leicht Irrthümer in der Folge der Abhandlung unterlaufen könnten.

der xy-Ebene parallel durch den Punkt A gelegt und die beiden Ebenen, die des Papieres und die xy, seien also um die Länge z von einander entfernt, dann ist offenbar unserer Verabredung gemäss, die Drehung des Punktes A um die z-Axe im positiven Sinne erfolgt, wenn der Punkt A nach A_1 verlegt worden ist. Um die Verkürzung zu messen, welche der Muskel durch Verschiebung des Punktes A nach A_1 erfahren hat, fällt man ein Perpendikel von A_1 auf die Richtung P, welche letztere natürlich ausserhalb der Ebene unserer Zeichnung, also in die Luft gehend, vorgestellt werden muss. Das durch dieses Perpendikel von P abgeschnittene Stückchen, welches gleichfalls in der Figur nicht sichtbar sein kann, ist die gesuchte Verkürzung bis auf unendlich kleine Grössen zweiter Ordnung genau, wenn der Drehungswinkel AFA_1, resp. das Bogenstück AA_1, als unendlich kleine Grösse erster Ordnung betrachtet wird. Diese Projection von AA_1 auf die Richtung der Kraft P ist aber = b Cos (b, P) wenn man unter b die kleine Linie AA_1 versteht, die zu gleicher Zeit als Stückchen Kreisbogen und als Theil der Kreistangente DE angesehen werden darf und unter (b, P) den Winkel zwischen dieser kleinen Linie b und der Richtung P.

Nach einem bekannten Satz der sphärischen Trigonometrie ist

$$(4)\ \operatorname{Cos}(b,P)=\operatorname{Cos}(b,x).\operatorname{Cos}(P,x)+\operatorname{Cos}(b,y).\operatorname{Cos}(P,y)+\operatorname{Cos}(b,z).\operatorname{Cos}(P,z)$$

wo unter (b, x), (b, y) und (b, z) die Winkel verstanden sind, welche die positive Richtung von b mit den positiven Richtungen der drei Coordinatenaxen x, y und z macht und analog unter (P, x), (P, y) und (P, z), die drei Winkel der Kraftrichtung P mit den Richtungen + x, + y und + z. Der letzte der drei Summanden in Gleichung (4) fällt in unserem besonderen Falle fort, weil b auf z senkrecht steht also Cos (b, z) = 0 ist.

Zur weiteren Umformung der Gleichung (4) wenden wir uns wieder zur Figur I. Wie aus derselben ersichtlich ist, bildet die Richtung AA_1 oder ED mit der positiven x-Richtung einen Winkel, welcher dem Nebenwinkel des mit β bezeichneten Winkels gleich ist, folglich Cos (b, x) = — Cos β

oder da β = dem Winkel FAH ist

$$(5)\qquad \operatorname{Cos}(b,x) = -\frac{AH}{AF} = -\frac{y}{r}$$

Ebenso bildet die positive Verlängerung von b mit der positiven y-Richtung den Scheitelwinkel von α, folglich

$$\mathrm{Cos}\ (b, y) = \mathrm{Cos}\ \alpha$$

und da α = Winkel FAK ist

$$(6) \qquad \mathrm{Cos}\ (b, y) = \frac{AK}{AF} = \frac{x}{r}$$

Setzt man nun in die Formel (4) für Cos (b, x) und Cos (b, y) die entsprechenden Werthe aus (5) und (6) ein, so erhält man

$$-\frac{b}{r} \cdot y \cdot \mathrm{Cos}\ (P, x) + \frac{b}{r} \cdot x\ \mathrm{Cos}\ (P, y)$$

oder in anderer Reihenfolge der Summanden

$$(7) \qquad \frac{b}{r} \cdot x. \mathrm{Cos}\ (P, y) - \frac{b}{r} \cdot y. \mathrm{Cos}\ (P, x)$$

als Ausdruck für die Verkürzung des Muskels bei einer unendlich kleinen Drehung um die z-Axe. Es versteht sich, dass man ganz analoge Ausdrücke für die Verkürzungen gewinnt, welche bei Drehung um die x- und um die y-Axe statt haben.

Der Vergleich der Formeln (1) und (7)

$$(1) \qquad x \cdot P. \mathrm{Cos}\ (P, y) - y \cdot P. \mathrm{Cos}\ (P, x)$$

$$(7) \qquad \frac{b}{r} \cdot x. \mathrm{Cos}\ (P, y) - \frac{b}{r} \cdot y. \mathrm{Cos}\ (P, x)$$

lehrt nun, dass die vorangestellte Behauptung richtig, also die Verkürzung des Muskels ein Maass für sein drehendes Moment aus der Anfangsstellung ist. Denn man sieht jetzt, dass man aus der Verkürzung des Muskels das Moment selbst berechnen kann. Braucht man ja doch nur das Messungsresultat, welches der Formel (7) entsprechen würde, durch $\frac{b}{r}$ zu dividiren, um die Grösse zu erhalten, die mit der Spannung des Muskels multiplicirt sein Moment in absolutem Werthe und mit dem richtigen Vorzeichen angibt. Der Quotient $\frac{b}{r}$ lässt sich mit Leichtigkeit berechnen, da sein Werth von den absoluten Grössen des Bogens b und des radius r völlig unabhängig und durch den Drehungswinkel allein bestimmt ist. Es sei z. B. der Drehungswinkel = 180^0, dann ist der Bogen

$$b = r\pi$$

$$\text{also } \frac{b}{r} = \pi;$$

folglich ist für den Drehungswinkel von 1^0

$$\frac{b}{r} = \frac{\pi}{180} \text{ und für den Winkel von } 10^0$$

$$\frac{b}{r} = \frac{\pi}{180} \cdot 10 = \frac{3,1415}{18} = 0,174$$

oder allgemein ist, wenn der Drehungswinkel n Grade beträgt

$$\frac{b}{r} = \frac{n\pi}{180}.$$

Es wäre jetzt zu untersuchen, wie weit sich bei den auszuführenden wirklichen Messungen der Begriff „unendlich klein“ dehnen lässt, ohne die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gefährden. Denn dass man mit einem Humerus keine im abstract mathematischen Sinne unendlich kleine Bewegung ausführen, geschweige denn deren Folgen messen kann, versteht sich ganz von selbst. Ein Beispiel möge die Erörterung anschaulich machen. Der Humerus sei aus seiner senkrecht herabhängenden Ruhelage um 10^0 adducirt und hierdurch der teres major um 7,5 mm. verkürzt worden. Ist nun diese Verkürzung ganz allmählig und gleichmässig entstanden oder war die Verkürzung in der ersten Phase der Adduction gleich Null, um dann in sehr schnellem Tempo bis zu 7,5 mm. anzuwachsen? Das Versuchsergebniss gibt auf diese Frage keine Antwort und lässt also die Möglichkeit offen, dass die unendlich kleine Verkürzung bei dem ersten unendlich kleinen Stück der Drehung jeden beliebigen unendlich kleinen Werth habe. Wenn man nun aber den Humerus um 10^0 aus der Anfangsstellung *ab*ducirt und findet, dass jetzt eine *Verlängerung* von 7,5 mm. stattgefunden hat, so kann wohl die Antwort auf jene Frage nicht mehr zweifelhaft sein.

Stellen wir uns zunächst unser Versuchsergebniss graphisch dar. (Siehe Fig. II.) Auf der Abscissenaxe seien vom Punkte 0 aus die 10^0 der Adduction nach rechts, die 10^0 der Abduction nach links als Längeneinheiten abgezählt und angeschrieben. Die rechts über und links unter der Zahl 10 errichteten Ordinaten entsprechen der Verkürzung von 7,5 mm. bei Adduction und der Verlängerung von 7,5 mm. bei Abduction des Humerus. Die Verbindungslinie der beiden Ordinatenendpunkte schneidet dann die Abscissenaxe im Nullpunkt und liefert nach dem Princip der Interpolation die graphische Darstellung aller Verkürzungen des teres major, für jede Stellung zwischen 10^0 Ab- und 10^0 Adduction. Man sieht aus derselben unmittelbar, dass die Verkürzung des Muskels

proportional der Grösse der erfolgten Drehung, also allgemein ausgedrückt

$$\frac{ba}{oa} = \text{tang } \alpha \text{ ist.}$$

Dieser Werth tang α darf als dem adducirenden Moment des teres major proportional oder mit andern Worten, als Maass seines adducirenden Momentes betrachtet werden, da er sich ja in der That nicht ändert, auch wenn man sich den Adductionswinkel unendlich klein vorstellt. Obwohl nun dies Beispiel aus den später mitzutheilenden Versuchsreihen entnommen ist, so dürfen wir doch die Erörterung noch nicht fallen lassen, da jenes Beispiel zu den Ausnahmen gehört und der Fall der häufigere ist, wo die Verlängerung eines Muskels ungleich ist der Verkürzung, welche er bei gleich grosser entgegengesetzter Bewegung des Knochens erleidet.

Stellen wir z. B. den Einfluss graphisch dar, den eine Ad- und Abduction des Humerus von je 10° auf die Länge eines Bündels des deltoideus hat. Wie in der vorigen Figur sollen auch diesmal (Figur III) wieder vom Punkt 0 nach rechts und nach links 10 Einheiten (den 10° Drehung entsprechend) abgezählt werden. In dem so gewonnenen Punkt a wird ein Perpendikel errichtet und = 4,9 gemacht, d. h. gleich der Verkürzung, welche der Faden durch Abduction des Humerus erfuhr; im Punkte d wird das Perpendikel nach unten = 2,5 d. h. gleich der Verlängerung des Muskels durch 10° Adduction gezeichnet. Die drei so gewonnenen Versuchspunkte c, o und b, liegen nicht auf einer geraden Linie, wohl aber lässt sich ein Kreis durch dieselben legen. Wenn wir diesen Kreis construiren und als graphische Darstellung der Muskelverkürzung betrachten, so begehen wir freilich eine Willkür, da noch unzählige andere Curven denkbar sind, die gleichfalls diese drei Punkte enthalten, also auch möglicherweise dem Vorgang der Verkürzung entsprechen können. Immerhin wird diese Willkür beträchtliche Fehler nicht herbeiführen können und hat ausserdem den grossen Vorzug, die willkürlich gewählte Curve wenigstens genau definirbar und darstellbar zu machen.

Das gesuchte Moment des Deltoidesbündels auf Abduction des Humerus ist dann nach der obigen Auseinandersetzung gemessen durch die trigonometrische Tangente des Winkels, welchen

die Richtung der Kreislinie im Punkte o mit der Abscissenaxe d o a bildet. Nach den Regeln der Geometrie, wird dieser Winkel dadurch construirt, dass man im Punkt o an den Kreis eine (geometrische) Tangente zieht. Denn diese Tangente liegt in derselben Richtung, welche die Kreislinie im Punkte o hat. Also ist tang $(b_1oa) = \frac{b_1a}{o\,a}$ der Werth, welchem in dem ersten Beispiel der Werth von tang α entspricht. Es wäre nun aber sehr mühsam und umständlich, für jeden einzelnen Fall diese Construction wirklich auszuführen. Wir benutzen desshalb gern einen kürzeren Weg, auf den man durch eine aufmerksame Betrachtung der Figur III leicht hingeführt wird. Es fällt nämlich in die Augen, dass ab_1, um etwa ebensoviel von a b an Grösse übertroffen, als dc hinter dc_1, = a b, zurückbleibt. Dies heisst mit andern Worten, das algebraische Mittel aus den Versuchszahlen ab und dc ist nahezu ebenso gross als ab_1 resp. dc_1 oder

$$\frac{ab + dc}{2} : oa = \frac{ab_1}{oa} = \text{tang } b_1oa.$$

Die genaue Ausrechnung des zweiten Beispieles beweist nun wirklich, dass die oberflächliche Schätzung das richtige getroffen und dass man die Construction durch die so einfache, eben ausgeführte Rechnung ersetzen darf. Denn obgleich das Beispiel von dem Deltoidesbündel absichtlich als dasjenige herausgesucht ist, in welchem die Verkürzung und Verlängerung sich am meisten, um fast 100% unterscheiden, so hat

doch das Resultat $\left\{\begin{array}{l} \text{tang } b_1oa = \frac{3,6}{10} \\ \text{und } \frac{dc + ab}{2} : oa = \frac{3,7}{10} \end{array}\right.$

zur Genüge gezeigt, wie ausserordentlich niedrig der Fehler, selbst in den abweichendsten Fällen, sich stellt.

Ehe wir nun dazu schreiten, die wirklich gemessenen Verkürzungen mitzutheilen und die Momente der Muskeln daraus zu berechnen, wird es sich empfehlen, einiges über die Hülfsmittel und Vorrichtungen zu sagen, deren man zur Ausführung einer einigermaassen genauen Messung an organischen Gebilden in diesem Falle bedarf.

Die erste Sorge musste der Herstellung eines geeigneten Präparates gelten. Wir entfernten zu dem Ende alle Muskeln

von einer gut entwickelten oberen Extremität und bezeichneten die Ursprungs- und Ansatzpunkte der zu untersuchenden Muskeln mit kleinen in die Knochen getriebenen Ringen. Nun wurde die Scapula mit Hülfe von eisernen Stativen und Korkzangen so über einem Tische befestigt, wie sie etwa einem mit stark nach hinten gezogenen Schultern dastehenden Menschen entsprechen würde. Natürlich kann dies nur ungefähr getroffen werden, da man nur mit dem Augenmaass an einem Skelet vergleichen und sich danach richten kann. Doch ist es kein grosser Nachtheil, dass die Stellung der Scapula sich nicht ganz genau beschreiben und bestimmen lässt, weil sie während der sämmtliche Muskeln betreffenden Versuchsreihen völlig unverändert bleibt. Zur leichteren Orientirung ist der Mensch, zu dem wir uns das Präparat ergänzt denken, so auf den Tisch gesetzt, dass seine Medianebene auf dem einen parallelen Tischkantenpaar und die Frontalebene auf dem andern senkrecht steht. Wenn in dieser Lage das Schulterblatt genügend befestigt ist, um bei Bewegungen des Humerus durchaus unverrückt stehen zu bleiben, so ist die nächste Aufgabe, eine gut definirte Anfangsstellung für den Oberarm zu verabreden.

Es liegt nahe, hierzu die senkrecht nach unten gerichtete zu wählen, die man durch Visiren und durch Projiciren des Knochens auf eine gegenüberliegende, mit verticalen Linien versehene, Wand immer leicht wieder finden kann, vorausgesetzt, dass man diese Correctur in zwei Ebenen, in der Flexions- und in der Adductions-Ebene vornimmt. Nun kann aber offenbar noch der Knochen um seine senkrechte Rotationsaxe unzählige verschiedene Lagen einnehmen. Es ist desshalb nöthig, zwei leicht erkennbare Punkte, etwa die äussersten Spitzen am condylus externus und internus durch eine gerade Linie, einen Stahlstift, zu verbinden und ein für allemal festzusetzen, dass der rechts und links aus dem Knochen hervorragende Stift, in der Ausgangsstellung mit der Flexions- und Rotationsaxe des Humerus in einer Ebene liegen und ausserdem der ersteren parallel sein soll. Da diese Axen nicht sichtbar sind, so lässt sich dadurch helfen, dass man auf der Tischplatte Striche zieht, die auf demjenigen Tischkantenpaar senkrecht stehen, welches der Verabredung gemäss auch von der Flexionsaxe senkrecht geschnitten wird; es ist dann möglich, durch Projiciren des Stahlstiftes auf diese

Kreidestriche dem Humerus die richtige Lage in Bezug auf seine Rotationsaxe zu verschaffen.

Um aus der solchergestalt bestimmten Anfangsstellung heraus den Humerus um eine bestimmte Anzahl von Winkelgraden zu flectiren, adduciren oder zu rotiren, brauchen wir einen mit dem Humerus festverbundenen Zeiger und einen in Grade eingetheilten Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in die Axe fällt, um welche eine Drehung stattfinden soll, und dessen Ebene von derselben Axe senkrecht geschnitten wird.

Ein so beschaffener Kreisbogen lässt sich mit Hülfe einer Reissschiene leicht herstellen. Das Querstück einer solchen wird mit Papier beklebt und von einem in dem Längsstück gelegenen Punkte aus ein Kreisbogen auf das Papier gezeichnet, der etwa 80 cm. zum radius und eine Winkelöffnung von 30° haben mag. Dann wird im Mittelpunkt dieses Kreisstückes ein Stahlstift senkrecht auf der Ebene des Kreises befestigt und das Ganze mit Hülfe von Korkzangen so aufgestellt, dass der Stahlstift die Verlängerung der betreffenden Drehaxe ist. Natürlich gelingt es erst durch wiederholtes Probiren, diesen Stahlstift auf den Punkt des Humeruskopfes zielen zu machen, der bei Bewegungen in einer Ebene, etwa bei Flexionen und Extensionen des Humerus völlig unbewegt stehen bleibt. Wenn jetzt ein mit dem Humerus fest verbundener Zeiger so angebracht wird, dass er bei Flexionen und Extensionen an dem in 30 gleiche Theile getheilten Kreisbogenstück hin- und hergeht, so ist offenbar das Gewünschte erreicht, d. h. es lässt sich jetzt der Humerus eine bestimmte Anzahl von Winkelgraden um seine Flexionsaxe hin- und zurückdrehen. Es ist zweckmässig den Zeiger nicht an dem Humerus selbst, sondern an dessen Verlängerung, an das unterste Ende der Vorderarmknochen zu befestigen, die zu dem Ende mit dem Oberarmknochen durch einige in das Ellebogengelenk getriebene Nägel absolut fest verbunden sind. Es wurde desshalb auch der Radius unseres getheilten Kreises von vorneherein ziemlich gross (80 cm.) genommen.

Man könnte nun glauben, mit diesen Hülfsmitteln liessen sich die Drehungen nach dem Augenmaasse hinlänglich genau ausführen. Wirklich haben wir auch ohne weitere Vorsichtsmaassregeln zahlreiche Versuche angestellt, uns aber schliesslich überzeugen müssen, dass die Bewegungen viel zu unrein ausfallen, dass z. B. eine Flexion oder Extension fast immer mit mehr

oder weniger Adduction und Rotation verbunden ist und demgemäss die Versuchsresultate nicht genügend untereinander übereinstimmen. Um diese störenden Nebenbewegungen zu vermeiden, gibt es zwei principiell verschiedene Wege. Entweder macht man eine Maschinerie, die dem Humerus eine ganz bestimmte Bahn, etwa in einem Falz, anweist oder man führt die beabsichtigte Bewegung freihändig aus und corrigirt dann die Stellung mit Hülfe von Marken und Zeichen. Der erste Weg musste bald als total unbrauchbar verlassen werden, da die Zahlenreihen noch schlechter zusammenstimmten als vorher, wo ohne alle maschinalen Hülfsmittel gearbeitet worden war. Der zweite dagegen wurde bald allen an ihn gestellten Forderungen gerecht. Einige Worte mögen genügen, ihn zu erläutern.

Sollten z. B. reine Bewegungen um die Ab- und Adductionsaxe ausgeführt werden, so wurde mit Hülfe von Klemmschraube, Draht und Wachs ein kleiner Spiegel derart mit dem Oberarmbein unbeweglich verbunden, dass seine Ebene auf der Ad- und Abductionsaxe senkrecht stand oder in andern Worten, der Spiegel befand sich in einer Höhe mit dem Drehpunkt des Knochens über der Erde und drehte sich bei Ad- und Abductionen des Humerus so in seiner eigenen Ebene, dass er immer der Ad- und Abductionsebene des Oberarmes parallel stand. Dieser kleine Spiegel (seine amalgamirte Seite war dem Knochen, seine spiegelnde der Aussenwelt zugewandt) wurde von einer stark leuchtenden Flamme, die sich mit ihm in gleicher Höhe und von der Richtung der Ab-Adductionsaxe eine Handbreit seitwärts befand, so stark beschienen, dass es selbst am Tage möglich war, das durch eine Convexlinse entworfene Flammenbildchen in einem neben der Lampe stehenden dunkeln Kasten sichtbar zu machen. Wenn sich der Humerus in seiner Anfangsstellung befand, musste offenbar das Bildchen um ebensoviel (also etwa eine Handbreit) auf der andern Seite der Ab-Adductionsaxe liegen, als die wirkliche Flamme auf der einen lag und die Höhe von Flamme und Bild über dem Boden musste die gleiche, nemlich die des Spiegels über dem Fussboden sein.

Nehmen wir nun an, es sei mit dem Humerus eine Bewegung ausgeführt worden, die der Stellung des Zeigers am Kreisbogen gemäss eine Abduction von 10^0 wäre, so wird die kleinste Beimischung von Flexion oder Extension und von Rotation nach innen oder aussen sich durch eine veränderte Stellung des Flammenbildchens verrathen; und zwar bedeutet, wie leicht ersichtlich

ist, eine Verschiebung des Bildchens nach oben eine Beimischung von Flexion, eine Verschiebung nach unten Extension, eine Verschiebung nach rechts oder nach links Rotation nach innen oder nach aussen. Man braucht also nur den Knochen so zu halten, dass das Spiegelbild an seinem alten Ort und der Zeiger auf 10° steht, um sicher zu sein, dass die beabsichtigte Bewegung rein und ohne Abweichung ausgeführt worden ist. Da die Flamme und die Tafel zum Auffangen des Spiegelbildes immer mehrere Meter von dem Präparat entfernt waren, so wurden selbst kleine Fehler in der Stellung des Humerus leicht erkannt und verbessert.

Um den Flammenzeiger auch bei Drehungen um die Flexions-Extensionsaxe anwenden zu können, braucht man ihn nur in eine entsprechende Lage zu dieser neuen Axe zu bringen und der beleuchtenden Flamme, Convexlinse und Tafel zum Auffangen des Bildes, ihren Platz an einer andern Wand des Zimmers anzuweisen oder statt mit der Lampe und ihren Anhängseln eine Ortsveränderung vorzunehmen den Tisch, der das Präparat trägt, um 90° zu drehen. Der Spiegel muss sich dann bei reinen Flexionen und Extensionen ebenso zur Flexionsebene parallel um die Flexionsaxe drehen und somit auf die Lage des Flammenbildchens ohne jeglichen Einfluss bleiben, wie zuvor bei Drehung um die Ad- und Abductionsaxe. Ganz dieselbe Methode lässt sich für Rotationen des Humerus nicht wohl in Anwendung bringen, weil in diesem Falle die Lichtquelle und das Flammenbild an die Decke des Zimmers kommen würden. Man kann sich aber dadurch helfen, dass man den Spiegel in einer der eben geschilderten Stellungen, etwa wie zu Flexionen hergerichtet, stehen lässt. Dann wird bei einer reinen Rotation des Humerus um seine Längsaxe das Spiegelbild nach rechts oder nach links wandern, aber immer in derselben Höhe über der Erde bleiben, solange keine fehlerhafte Ab- oder Adduction hinzukommt. Um auch zufällige Flexions- oder Extensionsbewegungen auszuschliessen, muss dann die Stellung des Zeigers über der Gradtheilung behülflich sein, welche letztere jetzt natürlich auf der Tischplatte angebracht ist und ihren Kreismittelpunkt senkrecht unter dem Drehpunkt des Gelenkkopfes hat.

Wir wären nun so weit gekommen, dass eine Flexion und Extension, eine Abduction und Adduction, eine Rotation nach

innen und nach aussen um 5⁰, 10⁰ oder 15⁰ rein ausgeführt werden kann. Es galt aber die bei einer solchen Bewegung stattfindende Muskelverkürzung zu messen. Da wir, wie oben gesagt, die Muskeln bis zu ihren Ansätzen weggeschnitten haben, so müssen sie durch etwas leicht messbares, etwa einen dünnen, dabei aber starken Hanffaden ersetzt werden. Man kann diese Fäden an die kleinen Ringe anknüpfen, welche an den Ursprungs- und Ansatzstellen eingeschlagen wurden oder man bindet, was noch zweckmässiger ist, den Faden an einen zu dem Ende stehen gelassenen Stumpf der Ansatzsehne fest. Dann führt man das freie Ende durch den an der Ursprungsstelle in die scapula eingeschlagenen kleinen Ring und von da über eine leicht laufende Messingrolle, über die er frei herabhängt und durch ein meisselartiges, am Ende des Fadens angeknüpftes, Eisenstück gespannt wird. Es muss dann, wenn Ursprung und Ansatz des Muskels durch eine Bewegung des Humerus sich genähert haben, der Meissel sinken und er muss genau um so viele Millimeter steigen, als bei einer zweiten Bewegung des Humerus der Ansatzpunkt des Muskels von seinem feststehenden Scapularursprung entfernt wird. Wenn man also hinter dem Meissel einen Maassstab zweckmässig aufstellt, so lässt sich ohne Weiteres ablesen, um wie viele Millimeter der Muskel sich bei einer bestimmten Bewegung verkürzt und um wie viele er sich bei der entgegengesetzten Bewegung verlängert hat.

Für diejenigen Muskeln, deren Ursprung und Ansatz man als punktförmig ansehen darf, also z. B. für das cap. long. tricipitis, cap. breve bicipitis, für den coracobrachialis u. s. w. können die Messungen jetzt ihren Anfang nehmen. Dagegen muss noch etwas über die Muskeln gesagt werden, welche wie der subscapularis einen flächenartigen oder wie der deltoides einen langgestreckten linearen Ursprung haben. Denn es bedarf wohl kaum einer Erwähnung, dass man sich z. B. den subscapularis nicht in einer Richtung ziehend vorstellen darf. Man durchsticht desshalb, um im Schema der Natur möglichst nahe zu bleiben, die breite Ansatzsehne des subscapularis mit eingefädelten Nadeln an drei Stellen, deren erste am obern Ende, die zweite in der Mitte und die dritte am untern Rand der Sehne zu liegen hat. Hierauf werden die Fäden mit I, II und III von oben nach unten gezählt und bezeichnet und dann durch drei Ringe geführt, die jedem der Fäden eine Lage zusichern, wie sie in Wirklich-

keit von einem Muskelbündel eingehalten wird. Der für den Faden I bestimmte Ring befand sich 15 mm. vom medialen Rand der scapula und ebensoweit vom obern innern Winkel derselben entfernt; der für den Faden II bestimmte Ring war gerade in den medialen Scapularrand etwas unterhalb seiner Mitte (95 mm. vom obern, 68 mm. vom untern Ende) eingeschlagen und Nr. III endlich sass 25 mm. vom medialen und 14 mm. vom untern Rand des Scapula entfernt. Die beiden den infraspinatus darstellenden Fäden liefen von einem Punkte des tuberculum majus in die fossa infraspinata; der mit I bezeichnete obere zu einem Ring im medialen Rande der Scapula und zwar 22 mm. unterhalb der Stelle, wo die spina scapulae und der mediale Rand dieses Knochens sich schneiden. Der für den untern Faden bestimmte Ring Nr. II war gleichfalls im Rand des Schulterblattes etwa 50 mm. tiefer, als der vorige und 48 mm. vom untern Ende desselben entfernt. Der supraspinatus, der teres major, teres minor, coracobrachialis waren, wie bereits angedeutet ist, durch je einen Faden wiedergegeben und die Ringe demgemäss so eingeschlagen, dass sie möglichst der Mitte der wirklichen Ursprungsfläche entsprachen. Eine ausführlichere Betrachtung verlangen deltoideus und caput longum bicipitis, die beide an einem neuen Präparat behandelt werden mussten, weil das erste die allzulang dauernde Untersuchung nicht auszuhalten vermochte.

Was zunächst den deltoides angeht, so haben wir ihn seiner ganz besondern Gestalt wegen so untersucht, als ob er aus drei verschiedenen Muskeln bestände. Wir unterschieden einen clavicularen, einen acromialen und einen spinalen deltoides und stellten den ersten und zweiten im Schema durch je zwei, den dritten durch drei Fäden dar. Als Angriffspunkt für die Fäden, wurde immer ein stehen gelassener Rest von Muskelbündeln benutzt, deren Fortsetzung sich in Natur gerade da anheftete, wo jetzt der Faden durch einen eingeschlagenen Ring geführt und von da über eine Rolle hin, vom Gewichtmeissel angespannt wurde. Die Fäden führen als Kennzeichen die laufenden Nummern von I bis VII und zwar fängt I am weitesten medial an der clavicula an und Nr. VII schliesst als letzter und hinterster Faden der spinalen Muskelportion.

Endlich wäre noch des langen Bicepskopfes Erwähnung zu thun, der auch am zweiten Präparat untersucht wurde. Dieser

Muskel macht eine besondere Schwierigkeit, da jene bequeme Art, die Verkürzung zu messen, auf ihn nicht anwendbar ist. Denn sein Ursprung, der als fester Punkt während der Bewegung des Humerus dienen soll, liegt so versteckt, dass es rein unmöglich ist, dort einen Ring einzuschlagen und einen Faden durchzuführen. Es muss also eine besondere Einrichtung getroffen werden und diese besteht darin, gewissermassen den ganzen Raum mit dem Humerus sich bewegen zu machen und so die Armknochen als fest und die scapula als bewegt erscheinen zu lassen. Doch drücken wir die Sache concret durch Beschreibung der Vorrichtung selbst aus! An der Stelle, wo die obere Bicepssehne in den Muskel übergeht, wird sie durchgeschnitten und ein guter Hanffaden angeknüpft. Der Faden wird dem Verlauf des Muskels entsprechend zur tuberositas radii geführt und durch einen dort eingeschlagenen Ring gesteckt. Dann wird das freie Fadenende ein- oder anderthalbmal um eines der oben beschriebenen Messingröllchen geschlungen und jetzt in einem Loch des Messingröllchens selbst festgeknüpft. Dieses Messingröllchen ist aber nicht, wie bei den übrigen Muskeln, auf einem beliebigen Platze des Tisches aufgestellt, sondern dreht sich in einer Gabel, die mit den Vorderarmknochen, also auch mit dem Humerus fest verbunden ist. Wenn daher eine Vergrösserung des Abstandes zwischen Ursprung des Biceps und dem Ring an der Tuberosität eintritt, so wird sich unter Drehung der Rolle, ein Stückchen des Fadens von ihm abwickeln und zwar ebensoviel, als die Verlängerung der Faden-Sehnenschnur betragen hat. Und umgekehrt, bei einer Annäherung von Ursprung und Ansatz muss sich so viel auf der Rolle aufwickeln, als die Verkürzung betrug, natürlich vorausgesetzt, dass die Rolle mit einer gewissen Kraft im umgekehrten Sinne gedreht wird, wie vorher durch die Zerrung des den Muskel vorstellenden Fadens.

Um also jedesmal, wenn eine Bewegung des Humerus stattgefunden, die erfolgte Verkürzung oder Verlängerung des langen Bicepskopfes kennen zu lernen, braucht man nur zu wissen, wie gross der Umfang des Rädchens ist und um wie viele Grade sich dasselbe bei der betreffenden Bewegung gedreht hat. Das estere, der Umfang des Röllchens ist ein für allemal zu 51 mm. bestimmt und der Drehungswinkel desselben wird an einem in 360 Grade eingetheilten Kreise abgelesen, auf dem ein an die Rolle fest gekittetes Schilfzeigerchen hin- und herstreicht. Hat

z. B. eine Drehung der Rolle um 35° stattgefunden, so wissen wir, dass die Verkürzung bezw. Verlängerung des Muskels $\frac{51}{360} \cdot 35$ mm. betragen hat. Um diesen kleinen Mechanismus immer mit einer bestimmten und zwar mit einer constanten Kraft zu spannen, so dass bei Verkürzung des Muskelfadens das Aufwickeln auf das Röllchen von selbst stattfindet, ist an der das Röllchen tragenden Gabel ein federndes Stahlblatt angelöthet. An das freie Ende dieser Feder ist ein Faden geknüpft, der um die Axe des Röllchens geschlungen ist, so dass die Feder an einem etwa 12 mal kleineren Hebelarm zieht, wie der den biceps darstellende Faden. Es leuchtet also ein, dass die Spannung der Feder sich nur um sehr wenig geändert haben kann, wenn eine ganze Umdrehung der Rolle stattgefunden hat, dass man also gar nicht zu fürchten braucht, es könnten durch verschieden starke Spannungen des Fadens und des einen Sehnenstumpfes Fehler in die Versuchsreihen kommen.

Schreiten wir nun zur Mittheilung der mit diesen Hülfsmitteln ausgeführten Messungen!

Tabelle Nr. I.

Musculus Coracobrachialis.

	Um 10°		Um 10°		15° rotirt	
	flectirt	extendirt	adducirt	abducirt	nach innen	nach aussen
	5,59	4,75	4,08	3,09	0,15	0,23
	5,39	5,32	4,20	3,51	0,04	0,25
	5,40	5,10	3,75	3,31	0,11	0,09
	5,68	4,72	4,05	3,20		
			4,01	3,24		
Mittel	5,5	5,0	4,0	3,3	0,1	0,2
	Verkürzt.	Verlängrt.	Verkürzt.	Verlängrt.	Verkürzt.	

Die vorstehende kleine Tabelle soll zunächst einen Begriff geben, wie ungefähr die aus sich entsprechenden Versuchsreihen gewonnenen Zahlen unter einander übereinstimmen. Jede der dastehenden Zahlen ist das Mittel aus 10 Einzelversuchen, die natürlich bald besser bald schlechter unter sich gestimmt haben. Im allgemeinen hat die Genauigkeit mit der Dauer der Arbeit

d. h. also mit der wachsenden Uebung zugenommen. Man bemerkt in dieser Tabelle, dass nicht alle Versuchsreihen gleich häufig wiederholt sind, dass z. B. die Rotationen nur durch drei, die Ad- und Abductionen dagegen durch je fünf Zahlen vertreten sind. Die Häufigkeit der Wiederholung richtete sich eben nach dem Bedürfniss; stimmten z. B. die Mittel aus 10 Versuchen wiederholt ziemlich genau, so wurde zu einem neuen Muskel übergegangen, im andern Falle wurde dagegen immer wieder von neuem gemessen, bis die Menge der Zahlen die mangelnde Genauigkeit der Einzelmessung ersetzte. So kommt es, dass im spätern Laufe der Experimente die Zahl der Versuchsreihen für je eine Bewegung eines Muskels auf zwei zusammenschmolz. Ausserdem war natürlich auch das Interesse der Bewegung für einen Muskel von Einfluss auf die Häufigkeit der Messungen; so wurde z. B. in dem vorliegenden Fall des coracobrachialis die Rotation als ziemlich nebensächlich, mit drei Versuchen abgefunden. Ferner fällt bei den beiden Rubriken für Rotation auf, dass nicht wie bei Flexion und Abduction die Drehung um 10^0 sondern um 15^0 ausgeführt wurde. Es hat dies seinen Grund in dem Umstand, dass die Verkürzung vieler Muskeln bei rotirenden Bewegungen des Humerus sehr gering ausfällt und dass desshalb zu fürchten ist, die dem Experiment naturgemäss anklebenden Fehler könnten die zu messende Grösse übersteigen.

Die folgende Tabelle Nr. II soll eine Uebersicht über das Endergebniss aller Messungen liefern; hier entspricht jede einzelne Ziffer dem Mittel aus einer bald grösseren, bald kleineren Zahl von Versuchsreihen; wir müssen also in ihr auch die Zahlen wiederfinden, die in Tabelle Nr. I neben dem „Mittel" stehen. Die Plus- und Minus-Zeichen, von denen jede Ziffer das eine oder das andere führt, bedeuten in dieser Tafel nur Verkürzung oder Verlängerung des betreffenden Muskels. Es sagt also in der ersten Reihe die Zahl (+ 5,5) aus, dass der musculus coracobrachialis bei einer Flexion von 10^0 sich um 5,5 mm. verkürzt hat. Es sind die Vorzeichen dieser Tabelle wohl zu unterscheiden von denen, welche in der Folge vor die ausgerechneten Momente kommen und eine ganz andere Bedeutung haben.

Tabelle Nr. II.

Muskelname.	Um 10⁰		Um 10⁰		Um 15⁰ rotirt. nach	
	flectirt	extendirt	adducirt	abducirt	innen	aussen.
1. Coracobrachialis	+ 5,5	— 5,0	+ 4,0	— 3,3	+ 0,1	+ 0,2
2. Cap. breve bicipitis	+ 6,0	— 6,0	+ 3,4	— 3,2	+ 1,0	— 1,2
3. Infraspinatus I	+ 1,4	— 1,5	— 1,7	+ 2,0	— 6,2	+ 6,0
4. Infraspinatus II	+ 1,8	— 2,0	+ 0,9	— 0,7	— 5,1	+ 5,0
5. Teres major	— 6,3	+ 5,3	+ 7,5	— 7,5	+ 2,7	— 2,7
6. Supraspinatus	+ 0,6	— 1,0	— 4,1	+ 4,1	— 2,5	+ 2,9
7. Cap. long. tricip.	— 1,8	+ 1,0	+ 3,7	— 4,5	— 0,3	+ 0,2
8. Teres minor	+ 1,1	— 1,2	+ 3,7	— 2,7	— 3,2	+ 3,9
9. Subscapularis I	+ 0,5	— 1,3	— 2,1	+ 1,6	+ 5,7	— 6,0
10. Subscapularis II	— 1,4	+ 1,9	— 1,3	+ 1,2	+ 6,0	— 6,2
11. Subscapularis III	— 2,9	+ 3,1	— 1,0	+ 0,8	+ 4,3	— 4,3
			5⁰	10⁰		
12. Deltoideus I	+ 5,8	— 5,6	+ 0,7	— 1,3	+ 1,9	— 2,8
13. Deltoideus II	+ 4,0	— 4,3	— 1,0	+ 1,5	+ 2,5	— 3,7
14. Deltoideus III	— 1,1	+ 1,8	— 2,5	+ 4,9	— 1,6	+ 1,2
15. Deltoideus IV	— 4,0	+ 4,6	— 0,6	+ 0,9	— 1,8	+ 1,3
16. Deltoideus V	— 5,9	+ 6,4	+ 1,7	— 3,7	— 2,0	+ 1,7
17. Deltoideus VI	— 4,8	+ 5,0	+ 3,8	— 7,3	— 2,2	+ 2,1
18. Deltoideus VII	— 4,9	+ 4,9	+ 5,4	—10,4	— 2,7	+ 2,6
19. Cap. long. bicip.	+ 1,5	— 1,7	— 1,9	+ 3,3	+ 3,0	— 3,1
20. Cap. breve bicip.	+ 6,2	— 6,2	— —	— 0,1	+ 0,2	— 0,5

Auch ohne weitere Auseinandersetzung wird diese Tabelle verständlich sein. Nur zwei Punkte mögen kurz besprochen werden. Vom zwölften Faden ab, also beginnend mit dem deltoideus ist nicht mehr wie bisher um 10⁰ sondern nur um 5⁰ adducirt worden. Es rührt dies daher, dass beim zweiten Präparat (und an diesem sind ja der deltoides und biceps untersucht worden) eine weitere Adduction von der Anfangsstellung heraus nur möglich war, wenn man sich nicht scheute, die Gelenkkapsel gewaltsam zu dehnen. Es schien desshalb bei der ohnehin ziemlich beträchtlichen Verkürzung dieses Mnskels zweckmässiger, sich mit einer Adduction von nur 5⁰ zu begnügen, und die dadurch gewonnenen Zahlen mit zwei multiplicirt in die späteren Rechnungen einzuführen. Es ist dies freilich auch wieder eine Willkür, aber ohne jede Gefahr für die Genauigkeit der Endresultate; man kann dies durch eine einfache Ueberlegung und Ausrechnung zeigen, die übrigens hier unterbleiben mag, um die Darstellung nicht ungebührlich auszudehnen. Der zweite Punkt, der noch erwähnt werden sollte, ist die Wiederholung des kurzen Bicepskopfes, der unter Nr. 2 und unter Nr. 20 erscheint. Er ist also sowohl am ersten wie am zweiten Präparat

geprüft und bietet uns eine willkommene Gelegenheit, zu vergleichen, was für Unterschiede die Verschiedenheit des Individuums herbeigeführt hat. Bei Flexion und Extension kann man zufrieden sein, da die Zahlen (+ 6,0) (— 6,0) und (+ 6,2) (— 6,2) nur wenig von einander abweichen und obendrein beweisen, dass in beiden Fällen die drei Versuchspunkte der graphischen Darstellung, wie in Figur II, in einer geraden Linie liegen. Dagegen zeigt sich bei Adduction und Abduction ein so grosser Unterschied, dass es nöthig erschien, nach einem besondern Grund zu suchen. Wir glauben ihn in einer etwas verschiedenen Lage des Ursprungspunktes auf dem Processus coracoideus gefunden zu haben. Denn wenn bei dem zweiten Präparat der Ursprungspunkt von der Mitte des proc. corac. möglichst weit medianwärts, also nur um etwa 0,5 cm. verschoben wurde, so zeigte sich bei Ab- und Adductionsbewegungen des Humerus, sofort eine merkliche Verlängerung und Verkürzung des Fadens, ohne freilich die Grösse der bei dem ersten Präparat beobachteten Unterschiede zu erreichen. Man sieht hieraus freilich, dass auch bei der uns beschäftigenden Angelegenheit, individuelle Verschiedenheiten eine Rolle spielen und dass daher die Ergebnisse der Untersuchung nicht ohne Weiteres als gültig für das menschliche Schultergelenk im Allgemeinen betrachtet werden dürfen. Wir sind uns wohl bewusst, dass dieser Umstand den Werth unserer Arbeit sehr gering erscheinen lässt und möchten sie desshalb auch nur als eine anatomische *Studie* angesehen wissen.

Es wäre jetzt aus den Zahlen für Verkürzung und Verlängerung eines Muskels (bei Drehung des Humerus um eine Axe in zwei verschiedenen Richtungen) das Mittel zu ziehen. Wie oben bewiesen wurde, erhält man durch diese Operation je eine Zahl, welche sehr annähernd gleich der einen Kathete (Fig. III) (b_1a) des rechtwinkligen Dreiecks ist, das zur andern Kathete $oa = 10$ hat und an der Grundlinie oa den Winkel b_1oa, durch dessen Tangente das drehende Moment des betreffenden Muskels bestimmt ist.

$$oa. \operatorname{tang} b_1oa = \frac{b_1a}{oa} . oa = b_1a$$

$$b_1a = \frac{dc + ab}{2}$$

Die folgende Tabelle (Nr. III) zeigt die Resultate dieser Ausführung, wobei nur noch zu bemerken ist, dass zur Aus-

führung, nicht die bereits abgerundeten Zahlen der Tabelle II, sondern die Originalziffern benutzt sind; es ist dadurch möglich geworden, auch in der zweiten Decimalstelle noch Zahlen anzugeben, die durch Versuche gewonnen wurden.

Tabelle Nr. III.

Name des Muskels	Mittel aus Verkürzung und Verlängerung durch Drehungen um		
	die Flexionsaxe	die Ad- u. Abductionsaxe	die Rotationsaxe.
1. Coracobrachialis	5,25	3,65	—
2. Cap. breve bicip.	6,0	3,3	1,1
3. Infraspinatus I.	1,45	1,85	6,1
4. Infraspinatus II.	1,9	0,8	5,05
5. Teres major	5,8	7,5	2,7
6. Supraspinatus	0,8	4,1	2,7
7. Cap. long. tricip.	1,4	4,1	—
8. Teres minor	1,15	3,2	3,55
9. Subscapularis I.	0,9	1,87	5,85
10. Subscapularis II.	1,65	1,25	6,1
11. Subscapularis III.	3,0	0,9	4,3
12. Deltoideus I.	5,7	1,35	2,32
13. Deltoideus II.	1,47	1,71	3,09
14. Deltoideus III.	1,14	4,96	1,41
15. Deltoideus IV.	4,32	1,04	1,52
16. Deltoideus V.	6,15	3,58	1,84
17. Deltoideus VI.	4.94	7,46	2,14
18. Deltoideus VII.	4,91	10,59	2,65
19. Cap. long. bicip.	1,6	3,55	3,05
20. Cap. breve bicip.	6,2	—	—

Jede Zahl der ersten Columne entspricht also, wie oben eingehender nachgewiesen ist, dem Ausdruck

$$(7) \qquad \frac{b}{r} \cdot x \operatorname{Cos} (P, y) - \frac{b}{r} \cdot y \cdot \operatorname{Cos} (P, x)$$

jede Zahl der zweiten Columne, dem Ausdruck

$$(8) \qquad \frac{b}{r} \cdot y \cdot \operatorname{Cos} (P, z) - \frac{b}{r} \cdot z \cdot \operatorname{Cos} (P, y)$$

und endlich jede der dritten Reihe, dem Ausdruck

$$(9) \qquad \frac{b}{r} \cdot z \cdot \operatorname{Cos} (P, x) - \frac{b}{r} \cdot x \cdot \operatorname{Cos} (P, z)$$

wobei noch einmal in Erinnerung zu bringen ist, dass wir die Flexions- und Extensionsaxe als z-, die Ad- und Abductionsaxe als x-, die Rotationsaxe als y-Axe bezeichnet haben. Der Werth für $\frac{b}{r}$ wurde oben schon zu 0,174 für den Fall bestimmt, dass

der Bogen b durch eine Drehung von 10⁰ entstanden sei. Analog findet man für eine Drehung des Knochens von 15⁰ 0,262. Wenn also z. B. für den Coracobrachialis

$$5{,}25 = \frac{b}{r} \cdot x \cdot \text{Cos}\,(P, y) - \frac{b}{r} \cdot y \cdot \text{Cos}\,(P, x)$$

und $5{,}25 = 0{,}174\,[x \cdot \text{Cos}\,(P, y) - y \cdot \text{Cos}\,(P, x)]$

dann ist $\frac{5{,}25}{0{,}174} = x \cdot \text{Cos}\,(P, y) - y \cdot \text{Cos}\,(P, x)$

also $x \cdot \text{Cos}\,(P, y) - y \cdot \text{Cos}\,(P, x) = 30{,}1$

dem drehenden Moment des coracobrachialis um die Flexions- (z-) Axe für den Fall, dass die Spannung des Muskels P = 1 gesetzt wird.

Tabelle Nr. IV.

Name des Muskels	Proportional dem Drehungsmoment um die Flexions-Extensions- (z-) Axe	um die Ad- und Abductions- (x-) Axe	um die Rotations- (y-) Axe.
1. Coracobrachialis	+ 30,1	+ 20,95	— — —
2. Cap. breve bic.	+ 34,4	+ 19,0	+ 4,20
3. Infraspinatus I.	+ 8,32	— 10,63	— 23,3
4. Infraspinatus II.	+ 10,9	+ 4,59	— 19,3
5. Teres major .	— 33,3	+ 43,1	+ 10,3
6. Supraspinatus .	+ 4,59	— 23,6	— 10,3
7. Cap, long. tricip.	— 8,04	+ 23,6	— — —
8. Teres minor .	+ 6,61	+ 18,4	— 13,5
9. Subscapularis I.	+ 5,17	— 10,7	+ 22,3
10. Subscapularis II.	— 9,47	— 7,18	+ 23,3
11. Subscapularis III.	— 17,2	— 5,17	+ 16,4
12. Deltoideus I.	+ 32,8	+ 7,75	+ 8,86
13. Deltoideus II.	+ 23,8	— 9,82	+ 11,8
14. Deltoideus III.	— 8,42	— 28,5	— 5,39
15. Deltoideus IV.	— 24,8	— 5,98	— 5,81
16. Deltoideus V.	— 35,3	+ 20,56	— 7,04
17. Deltoideus VI.	— 28,3	+ 42,9	— 8,17
18. Deltoideus VII.	— 28,2	+ 60,9	— 10,1
19. Cap. long. bicip.	+ 9,19	— 20,4	+ 11,6
20. Cap. breve bicip.	+ 35,6	— — —	— — —

Schon bei Besprechung der Tabelle II wurde darauf hingewiesen, dass die Plus- und Minuszeichen dort eine andere Bedeutung haben, als hier in der Tabelle Nr. IV. Während damals (+) eine Verkürzung und (—) eine Verlängerung des Muskels bedeutete, wird jetzt in der ersten Reihe durch + 30,1 über den coracobrachialis ausgesagt, dass dieser Muskel ein Drehungsmoment um die Flexions- Extensions- (also z-) Axe *im positiven Sinne* hat; und analog bedeutet die in der fünften Reihe neben

dem teres major stehende Zahl — 33,3, dass der teres um die z-Axe ein Drehungsbestreben in der umgekehrten Richtung ausübt; Das heisst: wenn der coracobrachialis sich zu contrahiren strebt und dem Gelenk nur eine Drehung um die wagrechte (von aussen nach innen gehende) Axe gestattet ist, so muss eine Drehung erfolgen, die den Arm nach vorne erhebt und dem anatomischen Sprachgebrauche gemäss Flexion genannt wird; und das Moment für den teres major um die z-Axe ist = — 33,3 bedeutet: Dieser Muskel würde unter den oben gedachten Umständen eine Extension des Armes herbeiführen. Es mag hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die weiter oben getroffene Wahl des positiven Sinnes der Axenrichtungen und der Drehungen nicht ganz willkürlich war; vielmehr glaubten wir, dass es dem Sprachgefühl am meisten entspreche, wenn man die Flexion, Adduction und Rotation nach innen als positive Drehungen bezeichnete. Freilich hat auch diese Wahl einen Nachtheil; denn, wenn man sie trifft, gehen die positiven Coordinatenrichtungen für den linken Arm nicht ebendahin wie im rechten. Man muss nemlich für den rechten Arm, wie es auch oben geschehen, positiv nennen die Richtungen nach innen, nach unten und nach hinten, im linken Arm aber die Richtungen nach aussen, nach oben und nach vorn.

Es wurde Eingangs schon angedeutet, dass sich aus den drei Momenten eines Muskels die Lage derjenigen Axe ermitteln lässt, um die der Muskel den Humerus drehen würde, wenn keine andere Kraft also z. B. auch nicht die Schwere die Stellung des Knochens beeinflusste. Um diese Berechnung auszuführen, möge Nr. 2, das caput breve bicipitis als Beispiel dienen. In der Tabelle Nr. IV stehen neben ihm die drei Zahlen 34,4, 19,0 und 4,20 als Maasse für die drehenden Momente um die z-, die x- und die y-Axe oder als die Momente selbst, für den besondern Fall, dass die Spannung P des biceps (cap. breve) = 1 ist. Auf Grund von bekannten Sätzen der Mechanik, verfährt man bei Lösung dieser Aufgabe folgendermassen: die drei Grössen 34,4, 19,0 und 4,20 werden vom Drehpunkt aus, auf der z-, der x- und der y-Richtung abgetragen und zu einem Parallelipiped ergänzt. Die Diagonale, dieses Parallelipipeds, welche d heissen mag, ist dann nach dem Pythagoräischen Lehrsatz

$$= \sqrt{34{,}4^2 + 19{,}0^2 + 4{,}20^2} = 39{,}53.$$

Dieser Werth, die Länge von d, dividirt in die Länge der ersten Seitenkante unseres Parallelipipeds liefert den Cosinus des Winkels zwischen der Richtung d und der z-Axe oder in mathematischer Zeichensprache

$$\frac{34,4}{39,53} = \text{Cos (d, z) und analog}$$

$$\frac{19,0}{39,53} = \text{Cos (d, x)}$$

$$\frac{4,2}{39,53} = \text{Cos (d, y).}$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen ist es dann ganz leicht, die drei Winkel zwischen d und z, zwischen d und x und endlich zwischen d und y in Graden ausgedrückt, in einer trigonometrischen Logarithementafel nachzuschlagen.

Die folgende Tabelle Nr. V zeigt die Ergebnisse dieser auf alle Muskeln ausgedehnten Rechnung. Wenn, wie das einigemale vorkommt, das Drehungsmoment eines Muskels um eine der drei Axen = 0 ist, so muss die gesuchte Lage der Diagonale d natürlich senkrecht auf ihr sein; fehlen gar zwei Momente, so ist die Linie d mit derjenigen Axe identisch, um welche der betreffende Muskel allein ein Drehungsbestreben besitzt.

Tabelle Nr. V.

Muskelname	Die Diagonale des rechtwinkl. Parallelipipeds dessen Seiten proportional den Momenten.	Diese Diogonale macht		
		mit der Flexions- (z-) Axe	mit der Ad- Abductious- (x-) Axe	mit der Rotations- (y-) Axe
		Winkel von:		
1. Coracobrachialis	36,67	34,5°	55°	90°
2. Cap. breve bicip.	39,53	29°	61°	84°
3. Infraspinatus I.	26,9	72°	113°	150°
4. Infraspinatus II.	22,65	61°	78°	148,5°
5. Teres major . .	55,42	127°	39°	79°
6. Supraspinatus .	26,15	80°	154,5°	113°
7. Cap. long. tricip.	24,94	109°	19°	90°
8. Teres minor . .	23,79	74°	39,5°	125°
9. Subscapul. I.	25,28	78°	115°	28°
10. Subscapul. II.	26,17	111°	106°	27°
11. Subscapul. III.	24,33	135°	102°	47,5°
12. Deltoideus I.	34,84	20°	77°	75°
13. Deltoideus II.	28,32	33°	110,5°	65°
14. Deltoideus III.	30,1	106°	161°	96,5°
15. Deltoideus IV.	26,17	161°	103°	103°
16. Deltoideus V.	41,46	148,5°	60°	100°
17. Deltoideus VI.	52,05	123°	34,5°	99°
18. Deltoideus VII.	67,87	114,5°	26°	98,5°
19. Cap. long. bicip.	25,36	68,5°	143,5°	62,5°
20. Cap. breve bicip.	35,6	— —	90°	90°

Hiermit wäre die Aufgabe, die wir uns gestellt haben, dem Wortlaute nach gelöst. Es schien jedoch wünschenswerth, hier nicht abzuschliessen, sondern auch für andere Stellungen des Humerus die Momente zu bestimmen. Namentlich musste es von Interesse sein, wenn man die neuen Stellungen so wählte, dass die Drehungsaxen ihre Plätze im Raume mit einander vertauschten, dass also z. B. bei Abduction um 90° des Humerus aus der früheren Lage (I) die neue Flexionsaxe so zu liegen kommt, wie bisher die Rotationsaxe, nemlich gerade senkrecht von oben nach unten.

Leider war dieser Plan aber nicht ausführbar, weil die Bewegungsexcursionen des Humerus im Schultergelenk sich als viel beschränkter zeigten, wie man gemeiniglich annimmt und wohl auch in Lehrbüchern angegeben wird. So findet sich z. B. in *H. Meyer*'s [1]) Statik und Mechanik die Angabe, dass der Humerus etwa 150° Excursionsfähigkeit um jede der drei Axen besässe. In den wenigen Präparaten, die in unserer Arbeit benutzt wurden, war dies entschieden nicht der Fall. Namentlich um die Rotationsaxe fanden wir die Beweglichkeit sehr gering, aber auch um die Abductionsaxe nicht grösser als etwa 125° und um die Flexions-Extensionsaxe etwa 110° bis 120 Grad. Selbst diese Ausschläge liessen sich nur durch ungebührliche Dehnung der Kapsel erzwingen. Wir mussten uns desshalb damit begnügen, bei einer Abduction von 60° die Messungen zu wiederholen. Bei dem zweiten Präparat, an dem der deltoides und biceps geprüft sind, hinderte selbst diese Stellung schon die freie Beweglichkeit und musste desshalb mit einer Abductionsstellung von 50° vertauscht werden. Auch für diese neue Anfangslage des Humerus muss man ein Axensystem verabreden, um das die Drehungen ausgeführt werden sollen. Hat man sich vorgestellt, dass bei der Lageveränderung des Oberarms das Axen-

---

[1]) Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes von *Herm. Meyer*. Seite 117.

Während des Druckes dieser Abhandlung, ist uns eine Arbeit von *Albert* in Innsbruck zugegangen, die eine sehr erfreuliche Bestätigung für die Richtigkeit unserer Schätzung, über den Bewegungsumfang im Schultergelenk liefert. Er bestimmte den Ausschlag des Humerus bei Drehungen um die Flexions- und um die Adductionsaxe zu je 100°, wobei er jedoch Dehnungen der Gelenkkapsel zu vermeiden suchte. Den Bewegungsumfang um die senkrechte, die Rotationsaxe scheint *Albert* nicht gemessen zu haben.

system sich nicht mit dem Knochen um 60° bezw. 50° um die Abductionsaxe gedreht habe, sondern im Raume fest stehen geblieben sei, so würde eine Flexion des Humerus in der neuen Lage (II) nicht mehr eine Bewegung des Knochens in einer Ebene sein; der Humerus müsste vielmehr jetzt einen Kegelmantel beschreiben. Es begreift sich, dass die exacte Ausführung einer solchen Bewegung auf grosse Schwierigkeiten stossen würde. Es galt also, einen andern Weg zu finden. Ein solcher könnte es sein, das Axensystem in dem Knochen fest und demgemäss aus der Lage I um 60° bezw. 50° abducirt vorzustellen. Jetzt würde offenbar eine Drehung um die Flexionsaxe den Humerus wieder in einer Ebene wandern lassen. Wir glauben, dass eine solche Bestimmung der drei willkürlichen Hauptaxen sich auch am besten anschliesst an die freilich wohl nirgend klar definirten Vorstellungen, welche dem anatomischen Sprachgebrauche zu Grunde liegen. Insbesondere wird wohl jeder Anatom unter einer „Rotation“ des Oberarms stets eine Drehung desselben um seine Längsrichtung verstehen, mag diese Längsrichtung diese oder jene Lage im Raume haben.

Wir haben nun in der That die Hauptaxen mit dem Oberarm in fester Verbindung gedacht. Bei der wirklichen Ausführung der Versuche behielten sie übrigens auch ihre Lage im absoluten Raume bei, indem die abducirte Stellung des Humerus durch eine Drehung der scapula um die betreffende Axe hervorgebracht wurde. Offenbar war dann die absolute Lage des Humerus ganz dieselbe, wie in Stellung I und es konnten also die messenden und corrigirenden Vorrichtungen unverändert belassen werden. Diese Drehung der scapula um 60° bezw. 50° bewerkstelligt man mit Hülfe von Visirlinien und Transporteur. Freilich lässt sich ein hoher Grad von Genauigkeit nicht erzielen, weil man nicht aus längern Versuchsreihen das Mittel ziehen kann, sondern sich mit einer Messung begnügen muss. Die folgenden vier Tabellen enthalten die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen, bezüglich dieser neuen Lage des Humerus zur scapula und sind ganz analog der vier vorhergehenden gewonnen und aufgestellt.

Tabelle Nr. VI.

Name des Muskels	Um 10^0		Um 10^0		Um 15^0 rotirt nach	
	flectirt	extendirt	adducirt	abducirt	innen	aussen
1. Coracobrachialis	+ 5,2	— 4,6	+ 0,3	+ 1,0	— 0,2	+ 1,0
2. Cap. breve bicip.	+ 6,0	— 5,5	— 0,7	+ 2,3	+ 0,3	— 0,3
3. Infraspinatus I.	+ 0,7	— 1,3	— 4,5	+ 4,1	— 3,2	+ 3,6
4. Infraspinatus II.	+ 0,6	— 1,3	— 4,6	+ 3.1	— 3,4	+ 4,1
5. Teres major .	— 2,5	+ 2,7	+ 9,0	— 7,8	+ 2,6	— 2,8
6. Supraspinatus	+ 0,1	— 0,9	— 5,2	+ 4,8	— 1,5	+ 2,0
7. Cap. long. tricip.	— 2,1	+ 2,3	+ 6,6	— 5,2	+ 0,2	+ 0,4
8. Teres minor	— 1,3	+ 1,0	— 0,6	+ 0.1	— 6,4	+ 5,5
9. Subscapul. I.	+ 4,3	— 4,6	+ 1,7	— 1,8	+ 2,2	— 1,7
10. Subscapul. II.	+ 3,3	— 3,2	+ 0,5	— 0,9	+ 5,5	— 5,9
11. Subscapul. III.	+ 0,9	— 0,8	+ 1.0	— 2,2	+ 4,4	— 6,4
12. Deltoideus I.	+ 6,9	— 6,2	— 2,1	+ 2,9	+ 0,5	— 0,9
13. Deltoideus II.	+ 4,1	— 3,4	— 3,7	+ 4,8	— 0,4	— —
14. Deltoideus III.	— 0,05	+ 0,2	— 5,7	+ 6,2	— 1,4	+ 0,5
15. Deltoideus IV.	— 3,6	+ 4,0	— 4,1	+ 4.5	— 0,8	+ 0,8
16. Deltoideus V.	— 4,1	+ 4,9	— 1,0	+ 1,5	— 0,6	+ 0,5
17. Deltoideus VI.	— 3,8	+ 3,7	+ 0,1	+ 0,6	— 0,5	+ 0,3
18. Deltoideus VII	— 3,6	+ 3,4	+ 2,3	— 1,6	— 1,1	+ 0,8
					um 10^0 rotirt	
19. Cap. long. bicip.	+ 2,4	— 2,8	— 2,9	+ 2,6	+ 0,3	— 0,3
20. Cap. breve bicip.	+ 6,3	— 6,6	— 0,7	+ 1,4	— —	+ 0,3

Tabelle Nr. VII.

Muskelname	Mittel aus Verlängerung und Verkürzung durch Drehungen um		
	die Flexionsaxe	die Ad- u. Abductionsaxe	die Rotationsaxe
1. Coracobrachialis	4,9	0,65	0,6
2. Cap. breve bicip.	5,75	1,5	—
3. Infraspinatus I.	1,02	4,32	3,4
4. Infraspinatus II.	0,95	3,87	3,75
5. Teres major .	2,57	8,4	2,7
6. Supraspinatus .	0,50	5,0	1,75
7. Cap. long. tricip.	2,17	5,9	—
8. Teres minor .	1,15	—	5,95
9. Subscapularis I.	4,46	1,77	1,95
10. Subscapularis II.	3,25	0,7	5,7
11. Subscapularis III	0,83	1,6	5,42
12. Deltoideus I.	6,53	2,5	0,7
13. Deltoideus II.	3,76	4,23	—
14. Deltoideus III.	—	6,0	0,97
15. Deltoideus IV.	3,85	4,28	0,82
16. Deltoideus V.	4,47	1,26	0,59
17. Deltoideus VI.	3,72	—	—
18. Deltoideus VII.	3,49	1,93	0,95
19. Cap. long. bicip.	2, 6	2,75	—
20. Cap. breve bicip.	6,45	1,05	—

Tabelle Nr. VIII.

Name des Muskels	Proportional dem Drehungsmoment um die Flexions- (z-) Axe	Proportional dem Drehungsmoment um die Ad-Abductions- (x-) Axe	Proportional dem Drehungsmoment um die Rotations- (y-) Axe
1. Coracobrachialis	+ 28,1	+ 3,73	— 2,29
2. Cap. breve bicip.	+ 33,0	— 8,61	— —
3. Infraspinatus I.	+ 5,86	— 24,8	— 13,0
4. Infraspinatus II.	+ 5,46	— 22,2	— 14,3
5. Teres major .	— 14,8	+ 48,2	+ 10,3
6. Supraspinatus .	+ 2,87	— 28,7	— 6,69
7. Cap. long. tricip.	— 12,4	+ 33,9	— —
8. Teres minor .	— 6,61	— —	— 22,7
9. Subscapularis I.	+ 25,6	+ 10,17	+ 7,45
10. Subscapularis II.	+ 18,6	+ 4,02	+ 21,8
11. Subscapularis III.	+ 4,76	+ 9,14	+ 20,7
12. Deltoideus I.	+ 37,5	— 14,35	+ 2,67
13. Deltoideus II.	+ 21,6	— 24,3	— —
14. Deltoideus III.	— —	— 34,4	— 3,71
15. Deltoideus IV.	— 22,1	— 24,55	— 3,13
16. Deltoideus V.	— 25,5	— 7,23	— 2,25
17. Deltoideus VI.	— 21,4	— —	— —
18. Deltoideus VII.	— 20,0	+ 11,1	— 3,63
19. Cap. long. bicip.	+ 14,9	— 15,8	— —
20. Cap. breve bicip.	+ 37,1	— 6,03	— —

Tabelle Nr. IX.

Name des Muskels	Die Diagonale d. rechtwinkl. Parallelipipeds, dessen Seiten proportional den Momenten	Die Diagonale macht mit der Flexions- (z-) Axe einen Winkel von:	Die Diagonale macht mit der Ad-Abductions- (x-) Axe einen Winkel von:	Die Diagonale macht mit der Rotations (y-)Axe einen Winkel von:
1. Coracobrachialis . .	28,44	8°	82,5°	94,5°
2. Cap. breve bicip. .	34,16	14°	104,5°	90°
3. Infraspinatus . I.	28,64	78°	150°	117°
4. Infraspinatus . II.	27,—	78°	145,5°	122°
5. Teres major . . .	51,53	107°	20;5°	78,5°
6. Supraspinatus . . .	29,65	84,5°	166°	103°
7. Cap. long. tricip. .	36,15	110°	20°	90°
8. Teres minor . . .	23,66	106°	90°	164°
9. Supscapularis . I.	28,57	26°	69°	75°
10. Supscapularis . II.	28,95	50°	82°	41°
11. Supscapularis . III.	23,17	78°	67°	26°
12. Deltoideus I.	40,25	21°	111°	86°
13. Deltoideus II.	32,56	48,5°	138°	90°
14. Deltoideus III.	34,66	90°	174°	96°
15. Deltoideus IV.	33,24	132°	138°	95,5°
16. Deltoideus V.	26,61	164°	106°	95°
17. Deltoideus VI.	21,4	0°	90°	90°
18. Deltoideus VII.	23,17	150°	61°	99°
19. Cap. long. bicip. . .	21,77	46,5°	136,5°	90°
20. Cap. breve bicip. .	37,63	9,5°	99°	90°

Der aufmerksame Leser, der Selbstverleugnung genug besessen hat, dieser wenig anziehenden Kette von Formeln und Zahlenreihen zu folgen, wird bei der Durchsicht der Tabellen wohl schon die Beobachtung gemacht haben, dass die Zahlen mit ihren Plus- und Minuszeichen durch Uebersetzung in Worte sich zu Behauptungen umgestalten, welche den bisherigen Anschauungen über die Wirkung der untersuchten Muskeln nicht immer beipflichten. Es dürfte daher wohl am Platze sein, eine Besprechung der mitgetheilten Versuche und Versuchsergebnisse folgen zu lassen. Da sich hierbei Gelegenheit finden wird, noch zahlreiche andere Versuche zu besprechen, die theils als Vorübung dieser Arbeit, theils zur Lösung von sich gelegentlich aufdrängenden Fragen angestellt sind, so soll dies den Inhalt des zweiten Theiles dieser Abhandlung bilden und am gleichen Orte demnächst mitgetheilt werden.

Zum Schlusse genügen wir gern der angenehmen Pflicht, dem Herrn Professor *von Kölliker* für die Bereitwilligkeit zu danken, mit der er uns Präparate aus dem anatomischen Institut und Bücher aus seiner Privatbibliothek zur freien Benutzung überlassen hat.

Anatomisch-mechanische Studie über die Schultermuskeln.

Von

A. EUGEN FICK,

Assistent am physiologischen Institut

und

E. WEBER,

stud. med.

II. Theil.

(Mit 3 Xylographien.)

In der ersten Hälfte dieser Arbeit ist ein Versuchsmaterial mitgetheilt worden, das zur Beurtheilung der statischen Verhältnisse der Muskeln für zwei bestimmte Stellungen des Humerus ausreicht. In der zweiten Hälfte sollen die Ergebnisse im einzelnen besprochen und mit den Angaben verglichen werden, welche einige anatomische und physiologische Schriftsteller auf Grund von Experimenten am Lebenden oder nur auf die gröbliche Anschauung hin über die hier behandelten Muskeln gemacht haben. Ehe wir aber beginnen, soll eine möglichst kurze Darstellung von Versuchen vorausgeschickt werden, die von einem andern Gesichtspunkt aus über dieselben Muskeln angestellt sind und später öfters erwähnt werden müssen. Der Gedankengang, der diesen Versuchen zu Grunde lag, war folgender: Man stelle sich in dem Drehpunkt eines Schultergelenkes drei auf einander senkrecht stehende Axen x, y und z vor und zwar in einer Lage zum Körper, wie dies eingangs der Arbeit genauer definirt ist; um jede dieser drei Axen führe man mit dem Humerus Drehungen aus, so ausgiebig als dies die Einrichtung des Gelenkes erlaubt; wenn man nun mit Hülfe von geeigneten Vorrichtungen die Verkürzungen misst, die einem Muskel während der maximalen Drehung um eine der Axen widerfährt, so hat man ein

Maass der Gesammtarbeit, welche jener Muskel bei Drehung des Knochens um die betreffende Axe möglicherweise zu leisten vermag. Freilich ist dies nur unter einer gewissen Voraussetzung richtig. Ein Maass der Gesammtarbeit, oder der Arbeit direct proportional ist die Verkürzung eines Muskels nur dann, wenn seine Spannung während des ganzen Bewegungsvorganges unverändert geblieben ist. Nun tritt aber naturgemäss mit jeder noch so kleinen Verkürzung eine Entspannung des Muskels ein; es nimmt also seine Spannung continuirlich ab. Wenn demnach die gemessenen Verkürzungen den Arbeitsgrössen proportional sein sollen, so muss der Spannungszustand durch eine immer stärker werdende Innervationsenergie constant erhalten, also die von der Verkürzung herrührende Entspannung durch neue Anstösse vom Nervensysteme her ausgeglichen werden. Offenbar ist das aber nur möglich, wenn beim Beginne des Bewegungsvorganges nicht schon die ganze Energie der Erregung in Anspruch genommen war. In diesem speciellen Fall ist natürlich die Verkürzung nicht mehr der Arbeit direct proportional, wohl aber lässt sich aus ihr die mögliche Arbeit berechnen, wenn man einen Werth P (für die Spannung des Muskels) in die Rechnung einführt, der ein Mittelwerth aus der Spannung des Muskels bei seiner grössten Länge und aus der Spannung bei seiner stärksten Verkürzung ist. Dieser Mittelwerth wird kleiner ausfallen, wenn die Verkürzung sehr beträchtlich war, denn es hat ja dann auch die maximale Anfangsspannung P′ eine sehr starke Abnahme erlitten; und er wird grösser sein, wenn die Verkürzung geringer war, da wegen der unbedeutenderen Verkürzung die Anfangsspannung P′ um einen geringeren Theil ihres Werthes gesunken ist. Immerhin wird man durch derartige Zahlangaben ein, wenn auch nicht ganz erschöpfendes, Bild der dynamischen Wirkungen eines Muskels erhalten könnnen.

Angenommen, es wäre nun für einen bestimmten Muskel ermittelt worden, dass er sich um a^{mm} bei maximaler Drehung des Humerus um die x-Axe, um b^{mm} bei Drehung um die y-Axe und endlich um c^{mm} bei Drehung um die z-Axe verkürzen kann, so ist damit noch nicht die Summe von Arbeit gefunden, die er bei einer einmaligen Contraction überhaupt an dem Gelenk zu leisten vermag, wenn der Knochen dem Muskelzuge frei folgt, also weder durch andere Muskeln noch durch besondere Gelenkeinrichtungen an bestimmte Bahnen gebunden ist. Um eine

dieser ganzen Arbeitsgrösse (in jenem oben beschränkten Sinne) proportionale Zahl zu finden, muss man den Unterschied messen zwischen der grösstmöglichen Länge des Muskels und seiner Ausdehnung im verkürztesten Zustand, ohne alle Rücksicht auf die Bahn, welche der Humerus hierbei beschreibt. Auch solche Messungen sind an einigen der ersten Präparate ausgeführt und sollen in der Folge zu Tabellen geordnet mitgetheilt werden. Im Anschluss hieran ist dann noch die Wirkung des langen Biceps- und Triceps-kopfes auf das Ellenbogengelenk in Betracht gezogen worden. Es wird sich also Gelegenheit finden, die Frage zu erörteren, an welchem von ihren beiden Gelenken diese zweigelenkigen Muskeln die meiste Arbeit zu leisten im Stande sind, eine Frage, die sicherlich einiges Interesse hat, da viele Anatomen merkwürdigerweise von einer Wirkung des langen Triceps und des Biceps auf das Schultergelenk gar nichts erwähnen, geschweige denn jene Frage aufgeworfen und beantwortet haben.

Wie bereits gesagt ist, waren die besonderen Axen, um welche die Drehungen des Humerus ausgeführt wurden, ganz dieselben, wie die im ersten Theil zur Bestimmung der Momente ausführlich definirten. Ebenso war für beide Reihen von Untersuchungen die Aufstellung des Präparates ganz dieselbe, soweit es überhaupt möglich ist, eine obere Extremität nach blossem Augenmaass das einemal wie das anderemal aufzustellen und zu fixiren. Auch die den einzeln Muskeltheilen entsprechenden Fäden liefen hier wie dort vom Ansatz zum Ursprung durch kleine Ringe, die fest im Knochen steckten und von da über Rollen zu den Maassstäben, an denen die jeweilige Verkürzung abgelesen werden konnte. Kurz es war Alles ziemlich ebenso, wie wir es oben ausführlich beschrieben haben mit Ausnahme von nur zwei Vorrichtungen. Da es sich nemlich bei den jetzt mitzutheilenden Messungen nicht darum handelte, den Knochen eine Bewegung von bestimmtem Winkelausschlag machen zu lassen; da vielmehr die Bewegung so weit geführt wurde, als es die Gelenkeinrichtung erlaubte, so hatten wir erstens jenes in Grade eingetheilte Stück eines Kreisbogens nicht nöthig, mit dessen Hülfe bei den Momentbestimmungen die Drehungen um 10^0 bezw. 15^0 ausgeführt wurden. Und dann fehlte uns zweitens jene Einrichtung mit dem Flammenbild, die es allein möglich gemacht hat, die Drehungen des Humerus um bestimmte Axen hinlänglich rein

auszuführen, um die Momente mit der nöthigen Genauigkeit bestimmen zu können. Es muss eben berücksichtigt werden, dass die uns im Augenblick beschäftigenden Versuche eigentlich nur Vorübungen zur Erlangung der nöthigen Fertigkeit waren und eine gute Methode erst schaffen sollten. Es ist desshalb auch gar nicht zu verwunderen, dass die Resultate nicht entfernt so gut unter einander übereinstimmen wie die Moment-Zahlen, um so weniger, da die Aufgabe selbst, den Knochen soweit um eine gewisse Axe zu drehen, *als die Gelenkeinrichtung zugibt*, eine ziemlich unbestimmte ist. Denn bei dem Schultergelenk findet bekanntlich die Hemmung nicht wie z. B. beim Ellenbogengelenk durch Aneinanderstossen zweier Knochen, sondern durch Anspannung der Gelenkkapsel statt, muss also das einemal früher, das anderemal später eintreten, je nachdem man grössere oder geringere Kraft auf die Drehung des Humerus verwendet hat; die Aufgabe dagegen, den Humerus um 10^0 oder um 15^0 zu flectiren ist von jener Fehlerquelle frei und wird sich darum mit einer grösseren Genauigkeit lösen lassen. Uebrigens hatte sich doch, selbst bei dieser weniger subtilen Voruntersuchung das Bedürfniss, die Knochenstellung an äusseren Vorrichtungen beurtheilen zu können, geltend gemacht und war dadurch, wenn nicht befriedigt doch wenigstens gemildert worden, dass zur Bezeichnung der Flexions-Extensions- und der Abductions-Adductionsebene kleine Bretchen an den Humerus festgenagelt waren. Wir suchten nun den Knochen immer so zu bewegen, dass diese Bretchen sich in ihrer eignen Ebene verschoben, was mit Hülfe einiger auf dem Tische gezogener Kreidestriche, die zum Visiren dienten, im Grossen und Ganzen auch gelang. Um reine Rotationsbewegungen zu erzielen, war ein Stahlstift in der Richtung der Rotationsaxe so befestigt, dass der Humerus mit einem Punct seines condylus internus auf dem Stift aufruhte; wurde eine Rotation des Humerus ausgeführt, so trug der Experimentirende dafür Sorge, dass dieser Punkt immer mit dem Stift in Berührung blieb.

Viel einfacher war es natürlich, die Verkürzungen zu messen, die der Biceps und der lange Triceps-Kopf bei Bewegungen im Ellenbogengelenk erleiden. Hier brauchte nur der Humerus mit der Scapula unbeweglich verbunden und die Vorderarmknochen ohne weitere Vorsichtsmassregeln gebeugt und gestreckt

zu werden, um sofort aus einigen wenigen Bestimmungen einen genügend zuverlässigen Werth erhalten zu können.

Um endlich die mögliche Verkürzung des Biceps bei Pro- und Supinationsbewegungen kennen zu lernen, wurde ausser dem Humerus auch noch die Ulna unbeweglich gemacht und zwar in verschiedenen Lagen zum Humerus. Die beiden folgenden Tabellen Nr. X und Nr. XII enthalten die Ergebnisse dieser Versuchsreihen in Mittelzahlen und dürften ohne weiteres verständlich sein.

Tabelle Nr. X.

Bewegungen im Schultergelenk.

Muskelname		Drehung um die Flexions- (z-) Axe.	Drehung um die Ad- u. Abductions- (x-) Axe	Drehung um die Rotations- (y-) Axe	
1. Coracobrachialis . . .		39	52	3	Drittes Präparat.
2. Infraspinatus . .	I.	11	19	44	
3.	II.	14	11	47	
4.	III.	16	5	35	
5. Teres major . .	I.	100	61	25	
6.	II.	102	71	22	
7. Supraspinatus . .	I.	29	35	14	
8.	II.	34	32	8	
9. Subscapularis . .	I.	10	2	50	
10.	II.	9	4	51	
11.	III.	4	6	49	
12.	IV.	24	6	39	
13. Cap. long. bicipitis . .		30	12	21	
14. Cap. breve bicipitis . .		39	23	3	
15. Cap. long. tricipitis .		65	45	2	
1. Cap. breve bicipitis .		57	16		Zweites Präparat.
2. Cap. long. tricipitis .		51	38		

Tabelle Nr. XI.
Bewegungen im Schultergelenk.

Nr.	Name des Muskels.		Lage des Humerus, wenn der Muskel maximal verkürzt ist.	Lage des Humerus, wenn der Muskel möglichst gedehnt ist.	Unterschied zwischen der grössten und kleinsten Länge des Muskels.
1.	Coracobrachialis . . .		flex.,add.,rot. n. innen	ext.abd. rot. n. aussen (spur.)	76mm.
2.	Infraspinatus . .	I.	flex. (wenig) abd. (max.) rot. aus	ext. (wenig) abd. (wenig) rot. in.	61
3.		II.	flex(wenig)abd.(viel) rot. aus.	ext. abd. rot. in.	65
4.		III.	flex. u. abd. (etwa 35°) rot. aus.	— abd. rot. in.	64
5.	Teres major . .	I.	ext(wenig)add.(spur) rot. in.	flex. (max.) abd. (etwas) rot. aus.	112
6.		II.			116
7.	Supraspinatus . .	I.	flex. (max.) abd. (wenig) rot. in.	ext. (max.) add. rot. in. (aber weniger)	54
8.		II.			55
9.	Subscapularis . .	I.	rot. in.	rot. aus.	58
10.		II.	rot. in.	ext. abd. (wenig) rot. aus.	57
11.		III.			52
12.		IV.	ext. abd. (etwa 30°) rot. in.	flex. abd. (90°) rot. aus.	73
13.	Cap. long. bicip. . .		flex. rot. in	ext. add. rot. aus.	40
14.	Cap. brev. bicip. . . .		flex. add. rot. in.	ext. abd. rot. aus.	64
15.	Cap. long. tricip. . . .		ext.	flex. abd. (s. wenig) rot. aus. (wenig.)	68

Tabelle Nr. XII.
Bewegungen im Ellenbogengelenk.

<table>
<tr><th rowspan="2">Muskelname.</th><th colspan="2">Beugung u. Streckung</th><th colspan="3">Pro- und Supination bei</th><th rowspan="2"></th></tr>
<tr><th>bei pronirtem Radius.</th><th>bei supinirtem Radius.</th><th>ge-strecktem.</th><th>rechtwinkelig gebeugtem</th><th>ganz gebeugtem Unterarm.</th></tr>
<tr><td>1. Cap. breve bicip.</td><td>77</td><td>81</td><td>2</td><td>13</td><td>8</td><td rowspan="3">Präparat Nr. 3.</td></tr>
<tr><td>2. Cap. long. bicip.</td><td>77</td><td>82</td><td>3.5</td><td>16.5</td><td>11</td></tr>
<tr><td>3. Cap. long. tricip.</td><td colspan="2">43</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>1. Cap. breve bicip.</td><td>85</td><td></td><td>8</td><td>25</td><td>14</td><td rowspan="2">Präparat Nr. 2.</td></tr>
<tr><td>2. Cap. long. tricip.</td><td colspan="2">51</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

Um die Mittheilung von Versuchsmaterial endgültig abschliessen zu können, mögen hier noch einige Tabellen ihren Platz finden, die ausschliesslich den beiden zweige-

lenkigen Muskeln, Biceps und langem Triceps gelten und geeignet sind, deren Wirkungen auf das Ellenbogengelenk noch heller zu beleuchten. Natürlich war, während die hierauf bezüglichen Versuche angestellt wurden, der Humerus vollkommen unbeweglich mit der Scapula verbunden und zwar in einer Lage, wie sie als I. Ausgangsstellung oben bereits ausführlich definirt worden ist. Bekanntlich steht nun die Axe, um welche der Vorderarm Beuge- und Streckbewegungen ausführt, nicht senkrecht auf der Richtung des Humerus, sondern ist so zu ihr geneigt, dass sie für diese besondere Lage des Humerus (Stell. I) von oben aussen nach unten innen zu liegen kommt. Es bewegen sich demnach die beiden Vorderarmknochen bei Beugung und Streckung in einer Ebene, die nicht senkrecht auf der das Präparat tragenden Tischplatte steht, sondern dieselbe unter einem spitzen Winkel schneidet. Es ist daher nicht ganz leicht und gelingt erst nach einigen vergeblichen Versuchen, ein mit Papier bespanntes Reissbret so auf dem Tisch fest aufzustellen, dass es der Flexions-Extensionsebene des Vorderarmes ziemlich genau parallel steht. Ist dies aber gelungen, so wird ein mit dem untern Ende der Ulna fest verbundener Bleistift, dessen Spitze mit dem Papier des Reissbretes in Berührung ist, auf dem Reissbret ein Kreisbogenstück beschreiben müssen, wenn die Ulna aus der Extensionsstellung gebeugt oder aus der Flexionsstellung gestreckt wird. Ohne dass die Vorrichtung auseinander genommen würde, bestimmt man dann den Mittelpunkt des Kreisbogens durch geometrische Construction und verbindet die beiden Endpunkte des Bogenstückes mit dem so gefundenen Mittelpunkt. Es werden dann diese Verbindungslinien einen Centriwinkel einschliessen, der mit einem Transportator gemessen in Bogengraden ausdrückt, um wie viel man den Vorderarm aus der vollkommen gestreckten Stellung beugen kann. Dieser meist zu 140°—150° gefundene Winkel wird in lauter gleiche Theile von je 10° eingetheilt und nun mit Hülfe der weiter oben beschriebenen Vorrichtungen gemessen, um wie viele Millimeter sich der Ansatz des Muskels seinem Ursprungspunkt nähert, bezw. sich von ihm entfernt, wenn der Vorderarm von 0° zu 10°, von 10° zu 20° u. s. w. von der maximal gestreckten Stellung ausgehend gebeugt wird. Eine im Princip ganz gleiche Einrichtung ermöglichte es, den Einfluss des Biceps auf die Supination in den verschiedenen Pro- und Supinationsstellungen zu untersuchen. Zu dem Ende

wurde auch noch die Ulna unbeweglich gemacht und zwar, indem man einen Nagel durch das Humeroulnar-Gelenk schlug. Der Bleistift war diesmal mit dem untern Ende des Radius verbunden und zwar möglichst parallel der Pro- und Supinationsaxe, also im groben etwa der Längsrichtung des Radius entsprechend. Das Reissbret mit dem Papier lag auf dem Tisch, jedoch etwas gegen die Tischebene geneigt, so dass die Reissbretebene von der Pro- und Supinationsaxe, also auch von dem Bleistift senkrecht geschnitten wurde.

Die Construction des Kreisbogenmittelpunktes, die Eintheilung des Bogenstückes und endlich die Messungen wurden ganz in derselben Weise wie bisher vorgenommen. Aus den so gewonnenen Zahlen haben wir dann die Momente der einzelnen Muskeln für die jeweilige Lage in der Art berechnet, wie dies im ersten Theil unserer Arbeit für die Berechnung der Tabellen IV und VIII auseinander gesetzt ist.

Tabelle Nr. XIII.

Cap. longum tricipitis. Bewegungen im Ellenbogengelenk.

		Verkürzung	Moment
Flexion von	0° — 10°	3,43 mm.	22
„	10° — 20°	4,26	24,2
„	20° — 30°	4,21	24,1
„	30° — 40°	4,20	23,3
„	40° — 50°	3,95	23
„	50° — 60°	4,07	22,5
„	60° — 70°	3,80	20,5
„	70° — 80°	3,33	19
„	80° — 90°	3,25	18
„	90° — 100°	3,07	17
„	100° — 110°	2,81	16,2
„	110° — 120°	2,86	16,1
„	120° — 130°	2,75	16,6
„	130° — 140°	3,04	18
„	140° — 150°	3,25	

Tabelle Nr. XIV.
Beugung und Streckung im Ellenbogengelenk.

Gebeugt	Cap. breve bicipitis		Cap. longum bicipitis	
	Verkürzung	Moment	Verkürzung	Moment
von 0° — 10°	4,39	28,1	4,58	28,3
„ 10° — 20°	5,41	32,8	5,3	32,4
„ 20° — 30°	6,03	36,7	6,02	37,4
„ 30° — 40°	6,79	41,0	7,03	42,1
„ 40° — 50°	7,52	43,5	7,65	43,5
„ 50° — 60°	7,65	44,1	7,52	44,3
„ 60° — 70°	7,74	43,5	7,93	43,8
„ 70° — 80°	7,45	40,4	7,34	39,7
„ 80° — 90°	6,64	35,8	6,53	33,4
„ 90° — 100°	5,86	30,9	5,14	27,8
„ 100° — 110°	4,93	25,6	4,56	23,2
„ 110° — 120°	4,02	19,0	3,54	15,8
„ 120° — 130°	2,61	—	1,98	—

Pro- und Supinationsbewegungen wurden bei diesen Messungen dadurch ausgeschlossen, dass Radius und Ulna unbeweglich mit einander verbunden waren.

Tabelle Nr. XV.
Cap. breve bicipitis Pro- und Supination bei fixirter Ulna

von 0° — 5°	0,1 mm.
„ 5° — 10°	0,1
„ 10° — 20°	0,5
„ 20° — 30°	0,6
„ 30° — 40°	0,6
„ 40° — 50°	0,4
„ 50° — 60°	0,4
„ 60° — 70°	0,4
„ 70° — 80°	0,3
„ 80° — 90°	0,3
„ 90° — 100°	0,2
„ 100° — 110°	0,1
„ 110° — 120°	0,1
„ 120° — 130°	0,1

0° entspricht dem Maximum der Pronation,
130° entspricht dem Maximum der Supination.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn wir hier zum Schlusse des allgemeinen Theiles unserer Arbeit noch einmal die mechanischen Principien auf welche alle Betrachtungen über die Wirkung der Muskeln auf ein arthrodisches Gelenk fussen, in etwas anderer Form aussprechen als es zu Anfang des ersten Abschnittes geschehen ist. Vor Allem mag noch einmal möglichst anschaulich der Begriff des Momentes definirt werden. Der Satz, dem Muskel M kommen bei der Spannung 1 bezüglich der drei willkührlich gewählten Hauptaxen die Momente m_{fl}, m_{ad}, m_{ri} zu, heisst mit andern Worten: der Zug des Muskels bei der Spannung 1 könnte im Gleichgewicht gehalten werden, wenn man in den drei durch den Drehpunkt senkrecht zu den drei Hauptaxen gelegten Ebenen drei an dem beweglich gedachten Knochen ziehende Kräfte anbrächte von den Grössen m_{fl}, m_{ad}, m_{ri} und zwar so, dass die Perpendikel vom Drehpunkt auf die Richtungen der Kräfte sämmtlich der Längeneinheit gleich und dass der Sinn jeder Kraft in ihrer Richtung der entgegengesetzte vom Sinne des betreffenden Momentes wäre. Wie schon durch die unterscheidenden Indices angedeutet ist, denken wir uns das Moment bezüglich der Flexionsaxe als flexorisch, müssten uns also den Sinn der entsprechenden Kraft in der auf der Flexionsaxe senkrechten Ebene, dessen Grösse $= m_{fl}$ zu nehmen ist, so denken, dass sie extensorisch wirkt u. s. f.

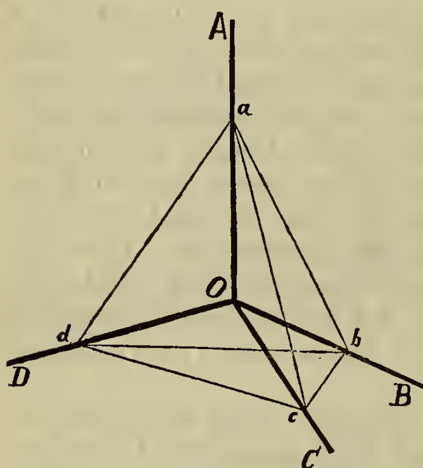
Natürlich lassen sich ausser dem soeben beschriebenen noch unzählige andere Kräftesysteme denken, welche an dem beweglich gedachten Knochen angebracht den Zug des betrachteten Muskels bei der Spannung 1 im Gleichgewicht halten würden, immer muss nur die folgende Bedingung erfüllt sein. Wenn wir nach den im Eingange zu Grunde gelegten Principien für jede Kraft des Systems das Moment um die Flexionsaxe berechnen und die Ergebnisse algebraisch summiren, so muss die Summe gleich und entgegengesetzt m_{fl} sein und ebenso müssen die entsprechend gebildeten algebraichen Summen bezüglich der beiden anderen Axen gleich und entgegengesetzt den Grössen m_{ad} und m_{ri} sein.

Wir wollen nun noch folgende in der Mechanik der Momente übliche Feststellungen machen. Man denke sich eine die Grösse des Momentes durch seine Länge darstellende Strecke vom Drehpunkte aus auf der Axenrichtung, auf welche sich das Moment bezieht, abgetragen und zwar nach derjenigen Seite, dass ein auf

derselben Seite mit den Füssen im Drehpunkt stehender Beobachter die durch das Moment bewirkte Drehung im Sinne des Uhrzeigers stattfinden sähe. Diese Seite der Richtung wollen wir die Halbaxe des Momentes nennen. Das lineäre Maass eines *flexorischen* Momentes des rechten Armes wäre also nach innen vom Drehpunkt abzutragen, das Maass eines extensorischen Momentes nach aussen und ensprechend in andern Fällen. Mit andern Worten, die Halbaxe aller flexorischen Momente wäre in der Richtung vom Drehpunkt nach *innen*, die Halbaxe der extensorischen Momente in der Richtung vom Drehpunkt nach aussen zu nehmen. Auf diese Weise lineär dargestellte Momente kann man nun behandeln wie Kräfte nach dem Satze des Parallelipipedes, d. h. wenn drei Momente an einem arthrodisch beweglichen Knochen wirksam sind und man dieselben solchergestalt lineär darstellt, so bringen sie zusammengenommen ein Drehungsbestreben hervor genau wie ein einziges Moment, dessen Axe die Richtung der Diagonale desjenigen Parallelepipedes ist, dessen drei anliegende Seiten die gegebenen lineär dargestellten Momente sind, und dessen Grösse durch die Länge der Diagonale gemessen ist. Es ist gut ausdrücklich hervorzuheben, dass dieser Satz sich nicht etwa auf Momente beschränkt, die sich auf drei zueinander senkrechte Axen beziehen, vielmehr dürfen sich die Axen unter ganz beliebigen Winkeln schneiden.

Der soeben ausgesprochene Lehrsatz macht am einfachsten ersichtlich, dass am Schultergelenk mehr als genügend dafür gesorgt ist, dass durch geeignete Combination der Spannungswerthe verschiedener Muskeln um *jede beliebige* durch den Drehpunkt gelegte Linie als Axe ein Drehungsbestreben, Moment, also auch mindestens eine erste unendlich kleine Drehung aus der Anfangslage heraus hervorgebracht werden kann. Es werden schon 4 Muskeln genügen, welche folgende Bedingung erfüllen. Man denke sich die Halbaxen der resultirenden Momente der 4 Muskeln vom Drehpunkt aus gezogen d. h. die Perpendikel auf die Ebenen welche die Zugrichtung der Muskeln und den Drehpunkt enthalten in dem durch die Verabredung gegebenen Sinne und man denke sich nun auf jeder Halbaxe in irgend welcher Entfernung vom Drehpunkt einen Punkt; wenn nun das Tetraëder dessen Ecken diese 4 Punkte sind den Drehpunkt einschliesst, so genügen die 4 Muskeln für alle Drehungen, wenn dagegen das Tetraëder den Drehpunkt ausschliesst, so

genügen die 4 Muskeln nicht. In der That, es seien in der Figur OA, OB, OC, OD die Halbaxen der 4 Muskelmomente und a b c d die darauf willkührlich gewählten Punkte; wenn nun das Tetraëder a b c d den Punkt O einschliesst, so kann durch geeignete Combination der Spannungswerthe der 4 Muskeln jede beliebige Drehung hervorgebracht werden. Handelt es sich um Drehung um eine Halbaxe die in der hohlen körperlichen Ecke a b c liegt, so wird man den Muskel d ungespannt lassen und den drei Muskeln a b c solche positive Spannungen ertheilen, dass die auf den Linien OA, OB, OC abzuschneidenden den Momenten proportionalen Stücke Seitenkanten eines Parallelepipedes sind, dessen Diagonale die verlangte Halbaxe ist, was immer ausführbar ist. Ebenso kann man es machen wenn die verlangte Halbaxe in eine der drei andern hohlen körperlichen Ecken ACD, ADB, BCD fällt; die 4 hohlen Ecken füllen aber sofern O innerhalb des Tetraëders liegt den ganzen Raum aus, so dass die verlangte Halbaxe jede Lage im Raume haben kann.



Es liegt nun nahe, die Frage aufzuwerfen, ob unter den Muskeln des Schultergelenkes sich viere so gelagert finden, dass sie der eben aufgestellten Bedingung genügen. Die Antwort auf diese Frage kann man dadurch finden, dass man an einem Modell die Halbaxen der Schultermuskeln andeutet und dann prüft, ob sich eine Zusammenstellung so machen lässt, dass von beliebigen Punkten der zusammengestellten vier Halbaxen aus ein Tetraëder construirt werden kann, das den Drehpunkt des Gelenkes in sich schliesst. Diese Arbeit kann man sich wesentlich durch folgende Betrachtung erleichtern. Durch die drei, im Drehpunkt eines Schultergelenkes unter rechten Winkeln sich schneidenden Hauptaxen wird offenbar der ganze Raum in acht Oktanten getheilt und zwar werden viere dieser Oktanten medialwärts von der Flexions-Extensionsebene des Humerus, die vier andern auswärts oder lateral von derselben zu liegen kommen.

Man kann sich nun je vier dieser Oktanten zusammengehörig denken, die nirgends miteinander in Flächenberührung sind, sondern nur die Durchschnittslinien je zweier Seitenflächen gemein haben. So beschaffen wäre z. B. für das rechte Schultergelenk folgende Gruppe: auf der medialen Seite der Flexions-Extensionsebene der nach hinten unten und der nach vorne oben gelegene, auf der lateralen Seite der nach vorne unten und der nach hinten oben gelegene Oktant. Man sieht nun ohne Weiteres, dass vier Halbaxen, die auf eine so gelegene Gruppe von Oktanten vertheilt sind, unter allen Umständen jener Bedingung genügen, also den Drehpunkt in dasjenige Tetraëder einschliessen müssen, welches von beliebigen Punkten dieser Halbaxen aus construit wird. In einer derartigen Gruppe von Oktanten liegen z. B. die Halbaxen

des cap. breve bicipitis
des Infraspinatus I
des Subscapularis III
des Deltoides VII

und zwar in derselben Reihenfolge wie soeben die zugehörigen Oktanten aufgezählt worden sind. Man kann sich von der Richtigkeit dieser Behauptung leicht überzeugen, wenn man die Angaben der Tabelle V über die Lage dieser vier Halbaxen entweder durch eine Zeichnung, oder, da dies sehr schwierig sein dürfte, an einem aus Drähten zusammengesetzten Modell körperlich darstellt. Nur darf dabei nicht vergessen werden, dass den früheren Bestimmungen gemäss für das rechte Schultergelenk die positive x-Richtung vom Drehpunkt nach hinten, die positive y-Richtung nach unten und die positive z-Richtung nach innen geht und dass also die in Tabelle V angegebenen Winkel von diesen Linien aus gezählt werden müssen.

Es würden also diese vier Muskeln bezw. Muskeltheile genügen, um den Humerus aus seiner ersten Stellung um jede beliebige Axe etwas zu drehen. Dem entsprechend sieht man aus Tabelle IV, dass es durch richtiges Zusammenwirken dieser vier Muskeln auch möglich ist, um jede unserer drei Axen x, y und z eine Drehung sowohl im positiven wie negativen Sinne auszuführen. Ausser dieser Beobachtung macht man aber noch eine zweite. Soll eine gewisse Bewegung z. B. eine reine Extension also Drehung um die z-Axe ausgeführt werden, so muss zur

Verhinderung von Abweichungen des Humerus aus der Flexions-Extensionsebene auch der Infraspinatus, also ein Muskel in Wirksamkeit treten, der ein flexorisches Moment hat. Es würde demnach wenn nur vier Muskeln an dem Schultergelenk angebracht wären sehr häufig der Fall eintreten, dass ein Theil der Kraft eines gewissen Muskels auf Dehnung seines Antagonisten im Interesse einer ganz bestimmten Bewegung des Knochens verwendet werden müsste und also für eine zu leistende Arbeit verloren ginge. Dieser Nachtheil braucht nun dank der beträchtlichen Anzahl von Schultermuskeln niemals einzutreten, wie man aus der Tabelle IV deutlich sehen kann und dass er auch physiologisch wirklich nicht eintritt (wenigstens soweit unsere Erfahrungen reichen), das wird aus der nun zu beginnenden Einzelbesprechung hervorgehen.

In den heutzutage gebräuchlichen Lehrbüchern der Anatomie findet sich über die Function der Skeletmuskeln nicht viel aufgezeichnet. Die Mehrzahl der Anatomen scheint eigne Untersuchungen über diesen wohl für abgeschlossen gehaltenen Gegenstand nicht gemacht und in den Lehrbüchern mit wenig Worten das wiedergegeben zu haben, was etwa die herrschende Meinung über die Function eines Muskels aussagt. Wir können uns desshalb darauf beschränken, die Angaben dreier Schriftsteller *Winslow*'s, *Bichat*'s und *Duchenne*'s zu prüfen. Die beiden ersten haben in ihren Lehrbüchern der Anatomie den Functionen der Muskeln eigene Kapitel gewidmet und damit doch mindestens eine eingehendere Beschäftigung mit jenen Fragen bewiesen, als jetzt an der Tagesordnung ist; der letztere hat bekanntlich ein grösseres Werk, „Physiologie des Mouvements“ verfasst, in dem er zahlreiche Experimente an Gesunden und an Leuten mit partiellen Muskellähmungen beschrieben hat. Die Methode seiner Untersuchungen bestand darin, einen Muskel, bezw. einen Theil eines Muskels isolirt durch Inductionsschläge in Erregung zu versetzen. Diejenige neue Stellung, welche in Folge der hierdurch hervorgerufenen Muskelverkürzung der Knochen annahm, betrachtete dann *Duchenne* als der physiologischen Wirkung des betreffenden Muskels entsprechend. Wir werden in der Folge sehen, dass diese Methode doch nicht unbedingt zuverlässig ist, so glänzend auch im Ganzen die Ergebnisse jener Arbeit sein mögen.

Beginnen wir nunmehr mit dem

Coracobrachialis.

Winslow und *Bichat* behaupten übereinstimmend, dass dieser Muskel Flexor, Adductor und Rotator nach *aussen* sei, das letztere allerdings nur für den nach innen gedrehten Humerus; beide fügen dann noch hinzu, diese Wirkungsweise des Coracobrachialis sei antagonistisch der des teres major. *Duchenne* dagegen sagt, der Muskel sei Flexor, Adductor und Rotator nach *innen.* Vergleicht man hiermit, was sich aus der ersten Zahlenreihe von Tabelle IV und VIII herauslesen lässt, so zeigt sich, dass in der Stellung I (Humerus senkrecht herabhängend) der Coracobr. ein Flexor und Adductor, aber kein oder wenigstens kein merklicher Rotator ist. In der zweiten Ausgangsstellung dagegen (Humerus um 60^0 abducirt) ist ein wenn auch geringes rotatorisches Moment nach aussen vorhanden; gleichzeitig ist das adductorische Moment für diese neue Lage des Humerus so erheblich vermindert, dass der Muskel fast zum reinen Flexor geworden ist. Wie unbedeutend, ja völlig verschwindend übrigens sein rotatorisches Moment sein muss, lässt sich aus der Tabelle Nr. X schliessen. Die Zahl 3 in der dritten Spalte derselben sagt nemlich aus, dass der Unterschied in der Länge des Coracobrachialis nur 3 mm. betrug, wenn man den möglichst weit nach aussen rotirten Humerus maximal einwärts drehte. Es dürfte sich desshalb empfehlen, von dieser allzugeringfügigen Nebenwirkung ganz abzusehen und ihn einfach als Flexor-Adductor anzusprechen.

Was den Antagonismus zwischen Coracobrachialis und

Teres major

angeht, so kann man nach unsern Erfahrungen mit viel mehr Recht vom Gegentheil, von Einsinnigkeit der Wirkung reden. Denn die Zahlen der Nr. 5 in Tabelle IV thuen dar, dass die Werthe m_{fl}, m_{ad} und m_{ri} des teres major sich zu einander verhalten wie 3 : 4 : 1, dass er also in erster Linie Adductor, d. h. Genosse des Coracobrachialis ist. In der zweiten Ausgangsstellung des Humerus (siehe Tabelle VIII, Nr. 5) ist gar das adductorische Moment des Teres doppelt so gross, als sein extensorisches und rotatorisches zusammengenommen. Was *Duchenne* über den teres major sagt, ist mit diesen unsern Angaben leicht in Einklang zu bringen. Denn dass er das extensorische Moment ziemlich unbedeutend findet, kann uns nicht in

Erstaunen setzen; arbeitet ja doch die Schwere des ganzen Armes bei seiner Art zu experimentiren einer Extension des Humerus entgegen, während die Adduction durch diese dem Muskel völlig fremde Kraft beträchtlich unterstützt wird. Es zeigt sich eben hier recht deutlich der für den Werth der *Duchenne*'schen Experimente ungünstige Umstand, dass die Schwere der Glieder nicht mit in Rechnung gebracht und desshalb sehr häufig das Resultat zweier Kräfte, der Muskelcontraction und der Schwere, statt der ersteren allein beobachtet worden ist. In diesem speciellen Fall muss man also erwarten, dass *Duchenne* die Wirkung des Teres auf Adduction des Humerus überschätzt. Ob dies wirklich der Fall gewesen ist, lässt sich freilich aus seinen Angaben nicht nachweisen, weil quantitative Bestimmungen überhaupt nicht darin enthalten sind. Dagegen geht unzweifelhaft aus seiner Beschreibung hervor, dass er die extensorische Wirkung des teres major weit unterschätzt hat.

Treten wir nun der oben bereits aufgeworfenen Frage näher, ob unter gewissen Umständen der teres major sich contrahirt, wenn eine reine Adductionsbewegung beabsichtigt ist, ein Vorgang, dessen mechanische Möglichkeit hinlänglich bewiesen wurde. Offenbar lässt sich die Antwort auf diese Frage nur durch das Experiment am Lebenden gewinnen. Wir fordern desshalb einen Menschen, der eine gut entwickelte und durch die Haut leicht erkennbare Muskulatur besitzt, auf, seinen um etwa 20° aus der Stellung I abducirten Arm möglichst rein zu adduciren, während ein anderer ihm dies durch Festhalten des Ellenbogens erschwert oder unmöglich macht. Untersucht man während dessen durch Betasten oder bei besonders muskulösen und fettarmen Personen auch blos mit Hülfe des Auges den Zustand des teres major, so kann man keinen Augenblick im Zweifel sein, dass derselbe straff gespannt ist und dass er augenblicklich erschlafft, sobald die Bemühung, den Arm zu adduciren, ausgesetzt wird. Es wird also offenbar bei reinen Adductionsbewegungen der teres major energisch mit contrahirt und folglich auch vermöge seines Adductionmomentes die gewollte Bewegung des Knochens unterstützen. Natürlich würde er auch ganz allein eine reine Adductionsbewegung des Humerus zu Stande bringen, wenn sein m_{ri} und sein m_{ext}, nicht wie in Wirklichkeit durch Span-

nung anderer Muskeln, sondern durch irgend welche fremde Kräfte, etwa Widerstände eines Bandapparates ausgeglichen würden.

Es wäre nun weiterhin zu prüfen, ob sich ausser dem teres major zur Herbeiführung einer Adduction noch die Muskeln contrahiren, welche wir nach der Tabelle IV hierzu für geeignet halten müssen, d. h. solche, die m_{ext} und m_{ri} des teres major aufheben, ohne zu gleicher Zeit ein m_{ab} zu besitzen oder aber solche, die nach stattgefundener Adduction länger geworden also gedehnt sind. Wir wiederholen daher den Versuch am Lebenden und suchen uns durch ausgiebiges Tasten von dem Zustand der übrigen Muskeln eine Vorstellung zu verschaffen. Wirklich zeigen sich hierbei ausser dem teres major unzweifelhaft contrahirt die mediane Hälfte der Bicepsmasse, also das cap. breve bicipitis und der Coracobrachialis, ferner das caput longum bicipitis, die spinale Portion des Deltoideus und vielleicht noch der teres minor mit einem Theil des Infraspinatus. Von dem Pectoralis und latissimus dorsi sehen wir ab, weil diese Muskeln nicht in die Untersuchung einbezogen sind. Es ist also wohl kaum zu bezweifeln, dass das extensorische Moment des teres major und cap. long. tricipitis und spinalen Deltoideus durch das flexorische der übrigen Muskeln aufgewogen und dadurch für die beabsichtigte Bewegung unschädlich gemacht wird.

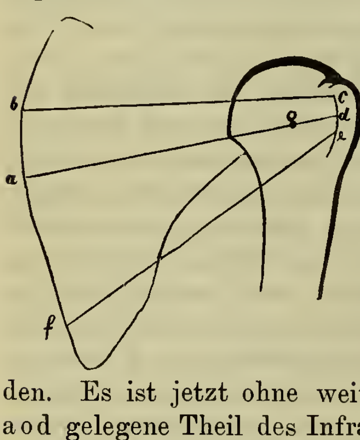
Damit aber eine Adductionsbewegung ganz rein zu Stande kommen kann, muss auch das m_{ri} des teres major aufgewogen werden. Auch hier zeigt die Uebereinstimmung zwischen den wirklich contrahirten Muskeln und den Angaben der dritten Spalte in Tabelle IV, dass die oben aufgestellte Bedingung sich physiologisch auch erfüllen lässt. Es wäre nun auf ähnlichem Wege nachzuweisen, dass auch zur Ausführung einer reinen Streckbewegung der teres major sich, natürlich in Gesellschaft anderer Muskeln, contrahirt. Es ist durchaus nicht schwer, an sich selbst oder an einem geeigneten andern Menschen das hierzu nöthige Experiment anzustellen. Man braucht nur mit dem Ellenbogen gerade nach hinten, etwa gegen einen Tisch oder sonst einen feststehenden Gegenstand zu drücken, d. h. also eine Streckbewegung mit einiger Kraft anzustreben und man wird sofort fühlen können, dass sich der teres major mit einigen andern später zu besprechenden Muskeltheilen energisch contrahirt. Endlich gelingt es nicht weniger leicht, die Mitwirkung des teres major auf Rotation nach innen am lebenden Menschen nachzu-

weisen. Es kann also der teres major in der allerverschiedensten und mannigfachsten Weise den Humerus in Bewegung setzen, je nachdem eines oder zwei seiner berechneten Momente ganz oder theilweise durch andere Kräfte aufgewogen werden.

Ein Vergleich der Tabellen Nr. X und XI lehrt ausserdem noch, dass dieser Muskel sich bei Drehungen des Humerus in der Flexions-Extensionsebene fast eben so stark verkürzen kann, als wenn der Humerus seinem Zuge frei folgt, während sich in der Ab-Adductionsebene nur etwa $^2/_3$ jener Verkürzung erreichen lassen, obgleich gerade in dieser Ebene der teres major sein stärkstes Moment hat (siehe Tabelle Nr. IV und VIII).

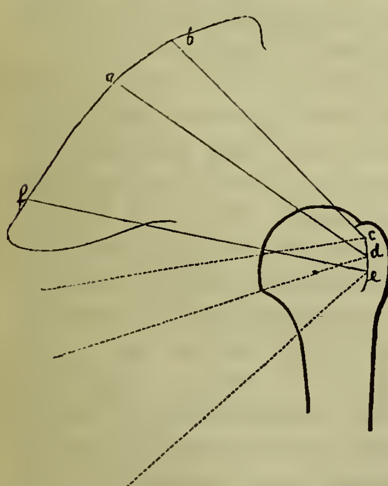
Infraspinatus.

Ueber die Wirkungsweise dieses Muskels sind die Ansichten der Gelehrten sehr getheilt. *Duchenne* erklärt ihn für einen reinen Rotator um 90° nach aussen und zwar in jeder beliebigen Lage des Oberarmes. *Bichat* hält ihn nebenbei für einen Adductor des erhobenen (abducirten) Armes. *Winslow* nennt ihn endlich einen Rotator bei senkrecht herabängendem und einen Extensor bei abducirtem Arme. Alle stimmen also nur in dem einen Punkte überein, dass der Infraspinatus bei der ersten Stellung des Humerus Rotator nach aussen sei, was natürlich auch von Niemandem bezweifelt werden wird. Eine zweite Uebereinstimmung liegt bei diesen drei Forschern in der stillschweigenden Annahme, dass der Infraspinatus in allen seinen Theilen von gleicher Wirkung sei. Diese Voraussetzung ist aber sicherlich unrichtig, wie man aus der nebenstehenden schematischen Zeichnung ersehen kann. Sie soll eine Projection des Infraspinatus auf die Abductions e b e n e des Humerus vorstellen; die Abductions a x e muss also senkrecht auf der Ebene des Papieres im Punkte 0 gedacht werden.



Es ist jetzt ohne weiteres ersichtlich, dass der oberhalb a o d gelegene Theil des Infraspinatus, nemlich a d c b abductorisch und der unterhalb gelegenen a d e f adductorisch wirken muss, wenn anders die Zeichnung richtig ist, d. h. wenn die Abductionsaxe die breite Ansatzsehne des Muskels wirklich schneidet.

Die Ergebnisse unserer Versuche stimmen mit dieser theoretischen Forderung vollkommen überein. In der Stellung I des Humerus hat sich nämlich für beide Fälle ein rotatorisches Moment nach aussen und ein schwächeres flexorisches Moment gefunden; dagegen zeigt sich für Drehungen um die Abductionsaxe der obere Faden als der Antagonist des untern adductorischen. Dass dies *Duchenne* übersehen musste, hat also hier einen doppelten Grund; einmal weil Abductionsbewegungen durch die Schwere des Armes behindert werden und dann zweitens, weil bei einer Faradisation des ganzen Infraspinatus die abductorische Componente der oberen Hälfte durch die adductorische der untern aufgehoben oder doch vermindert werden muss. Gehen wir zur zweiten Stellung des Humerus (um 60° abducirt) über, so finden wir, dass die Angabe *Winslow's*, jetzt sei der Muskel Extensor, mit unsern Zahlen in offenem Widerspruch steht, die beide Theile des Muskels für, wenn auch schwache, Flexoren erklären. Die Behauptung *Bichat's*, der erhobene Arm würde durch den Infraspinatus niedergezogen, ist ebenso wenig richtig; im Gegentheil auch die untere Partie ist jetzt zu einem Abductor und zwar zu einem recht kräftigen geworden. Ein Blick auf die nebenstehende kleine Zeichnung lehrt, dass dies ganz natürlich ist, da durch die Abduction des Humerus jetzt alle Muskelfäden oberhalb der auf dem Papier senkrecht stehenden Abductionsaxe verlaufen. Ein Rotationsmoment nach aussen ist für beide Fäden geblieben; soweit können wir also *Duchenne* beipflichten; auch dass er die Behauptung *Bichat's*, der Muskel sei für den erhobenen Arm „abaisseur", in Abrede stellt, stimmt völlig zu unsern Zahlen. Dass er aber die abductorische Wirkung übersehen hat, ist um so merkwürdiger, da dieselbe fast doppelt so gross ist als die rotatorische. Wenn man also den Infraspinatus nach seinen grössten Leistungen bezeichnen will, so muss man sagen, dass er bei hängendem Arm Rotator und bei erhobenem Abductor ist. Man bemerkt, dass dieser Wech-



sel seiner Funktion von Wichtigkeit sein kann, wenn es gilt, eine sehr ausgiebige Abduction mit grosser Kraft auszuführen. Denn wenn der Humerus um 60° abducirt ist, so müssen diejenigen Muskeln, welche diese Stellung herbeigeführt haben, schon merklich entspannt und jedenfalls nicht mehr im Stande sein, ihre maximale Anfangsspannung zu erzeugen. Ist nun aber der von ihnen zu überwindende Widerstand noch derselbe, wie in der Ausgangsstellung, so kann eine weitere Bewegung in demselben Sinne nur dann eintreten, wenn noch ein neuer Muskel in Wirksamkeit tritt, der sich — im vorliegenden Falle wenigstens — im Maximum seiner Dehnung und damit in der möglichst günstigen Lage für die zu leistende Arbeit befindet.

Ehe wir zu einem andern Muskel übergehen können, wäre hier eine sich aufdrängende Zwischenfrage zu erledigen: Contrahirt sich ein Muskel stets in toto, oder wird in einem Falle wie dem eben besprochenen sich immer derjenige Theil des Infraspinatus contrahiren, der vermöge der jeweiligen Lage des Humerus ein abductorisches Moment hat, nnd wird der unter dem Drehpunkt gelegene in Ruhe sein? Durch ein Experiment am Lebenden lässt sich diese Frage für den Infraspinatus aus naheliegenden Gründen nicht wohl beantworten. Dagegen werden wir später am Deltoideus sehen, dass die einzelnen Theile einer Muskelmasse, die der anatomische Sprachgebrauch mit e i n e m Namen als e i n e n Muskel bezeichnet, sich völlig unabhängig von einander contrahiren können und auch wirklich, beim Deltoideus wenigstens, nachweisbar isolirt contrahiren. Wie weit dies geht, der wie vielte Theil eines Muskels für sich contractionsfähig ist, liess sich freilich nicht in Zahlen feststellen. Jedoch dürfte die Vermuthung etwas für sich haben, dass durch jede einzelne Nervenfaser ein isolirter Erregungsimpuls zu den ihr zugehörigen Muskelprimitivbündeln fliessen kann. Es würden dann noch die kleinsten mit blossem Auge unterscheidbaren Bündel für sich allein actionsfähig sein, wenn dies freilich auch bei der Mehrzahl der Muskeln, namentlich bei denen, welche mit einer Sehne punktförmig entspringen und punktförmig endigen, nicht wirklich benutzt werden sollte. Gleichwohl wäre selbst für diese Muskeln die Annahme nicht widersinnig. Es lässt sich doch recht wohl denken, dass bei Beschäftigungen, die sehr kleine Winkelexcursionen eines Knochens bei ganz geringem Widerstand verlangen, der betreffende Muskel nur theilweise in Erregung

versetzt wird, dass die Geschicklichkeit physiologisch betrachtet die Fähigkeit ist, nach Bedürfniss grössere oder geringere Bruchtheile eines Muskel in Thätigkeit zu setzen. Jedenfalls scheint es nach dem, was die Beobachtung am Deltoideus zeigt, erlaubt, anzunehmen, dass auch die übrigen flächenartigen Muskeln sich in ihren verschieden verlaufenden und darum verschieden wirkenden Theilen unabhängig von einander contrahiren.

Der teres minor gilt allgemein für physiologisch gleichwerthig mit dem vorigen. Dies ist in sofern richtig, als er qualitativ ganz der untern Partie des Infraspinatus, wenigstens für die Ausgangsstellung I entspricht; er ist Flexor, Adductor und Rotator nach aussen. Ein Unterschied besteht aber insofern, als sein adductorischer Moment grösser und sein rotatorisches kleiner ist, als die entsprechenden Momente der benachbarten Infraspinatuspartie. Dies ist ganz natürlich, da der Hebelarm des teres minor für Adduction grösser ist als der des untersten Infraspinatustheiles; hingegen ist der Teres für Rotationen ungünstiger gelagert, weil er an einem kleineren Rotationshebelarm wirkt, und ausserdem seine Zugrichtung mit der y-Axe einen spitzeren Winkel macht, wie die höher gelegenen Muskeltheile.

Wie sich aus den Zahlen der Tabelle IV ergibt, ist der Unterschied so gross, dass der teres minor ein stärkerer Adductor als Rotator ist, während, wie wir oben sahen, beim Infraspinatus II das umgekehrte der Fall ist. Werden Scapula und Humerus von einander abducirt, so muss das adductorische Moment des Teres ab- und das rotatorische zunehmen. Wirklich bestätigen auch die Zahlen der Tabelle VIII jene Erwartung vollständig. Das Abductionsmoment hat nicht, wie beim benachbarten Infraspinatustheil, bis ins negative abgenommen, sondern nur bis Null; es liegt mithin jetzt die Abductionsaxe in der Ebene, welche den Ursprungs- und Ansatzpunkt des teres minor mit dem Drehpunkt enthält. Dafür ist aber nunmehr das rotatorische Moment bis beinahe auf das doppelte seiner vorigen Grösse gestiegen. Es ist gewiss nicht ohne Interesse, dass die Summe der rotatorischen Momente der beiden Infraspinatusfäden und des teres minor für beide Stellungen des Humerus ziemlich gleich gross ist; dies heisst mit anderen Worten: die statische Kraft der aus Infraspinatus und teres minor bestehenden Muskelmasse für Drehung des Humerus nach aussen verändert sich nicht, wenn der Humerus seine Lage in der Ad-Abductionsebene

ändert. Man kann also ebenso gut den Infraspinatus und teres minor als einen Muskel zusammenfassen, wie man die physiologisch verschiedenen Theile des Infraspinatus als einen einzigen Muskel betrachtet. Ein solcher Flächenmuskel wirkt eben nicht immer mit allen seinen Fasern gleichzeitig; ist eine reine Rotation des Humerus beabsichtigt, so treten offenbar alle Bündel in Thätigkeit; ist dagegen eine reine Abduction des Humerus auszuführen, so contrahiren sich mit jedem Grad Erhebung mehr und mehr Theile, bis schliesslich (bei Abduction über 60°) der ganze Muskel in Mitwirkung gesetzt ist.

Nach dem oben Gesagten ist vorauszusehen, dass der

Supraspinatus

sich als Fortsetzung des Infraspinatus nach oben in seinem Verhalten dicht an die vorigen anschliessen muss. In der That zeigen auch unsere Tabellen, dass der Supraspinatus etwas weniges Flexor, ein recht ansehnlicher Abductor und mässiger Rotator nach aussen ist. In der zweiten Ausgangsstellung hat, wie nicht anders zu erwarten, das Abductionsmoment auf Kosten der übrigen Componenten gewonnen. Die Angaben der Autoren stimmen hiermit in sofern überein, als alle die Abduction für eine durch den Supraspinatus ausführbare Bewegung erklären. *Winslow* sieht freilich den hauptsächlichsten Zweck dieses Muskels in einer Fixirung des Gelenkes. Da aber unzweifelhaft alle Muskeln zur Befestigung des Gelenkes beitragen und wir ausserdem hier die Muskeln nur hinsichtlich ihrer Fähigkeit, am Gelenk Arbeit zu leisten, untersuchen wollen, so darf füglich die Frage, ob ein Muskel mehr oder weniger zur Befestigung des Gelenkes beiträgt, unerörtert bleiben. Von *Duchenne* wird diesem Muskel ausser einer flexorischen Nebenwirkung auch ein Moment für Rotation nach innen zugeschrieben. Dass diese letztere Angabe falsch ist, dass der Muskel vielmehr etwas den Humerus nach aussen rotirt, davon kann man sich an jedem anatomischen Präparat überzeugen. Wenn man an einem solchen den Humerus einwärts rollt, so spannt sich der Infraspinatus straff an, d. h. doch, er wird durch Einwärtsrotation verlängert, kann also niemals durch Uebergang in den verkürzten Zustand, durch eine Contraction, diese Lage des Knochens herbei führen.

Der Subscapularis

wird von den Autoren übereinstimmend als Rotator nach innen aufgefasst, nur *Bichat* findet, dass er bei seitwärts erhobenem Arme ein „abaisseur“ sei. Da die breite Ansatzsehne des Muskels von der Flexionsaxe durchschnitten wird, so zerfällt der Muskel, ebenso wie der Infraspinatus, in zwei Theile die sich für Bewegungen um die Flexionsaxe antagonistisch verhalten müssen. Demgemäss ist laut Tabelle IV der oberste Faden Flexor, der zweite und dritte sind Extensoren. Dadurch dass die Scapula um 60^0 abducirt wird (Stellung II), bekommen die Verbindungslinien zwischen Ursprung und Ansatz der Muskelbündel eine andere Lage zum Drehpunkt und es tritt nun bei allen eine für Flexion günstige Veränderung der Wirkungsweise ein. Während also das flexorische Moment des ersten Fadens von 5 bis zu 25 gewachsen ist, hat sich das extensorische (9) des zweiten über Null hinaus zu einem flexorischen (18) umgewandelt und ganz ähnlich das des dritten Fadens $m_{ext} = 17$ bis zu $m_{fl} = 5$.

Aehnlich verwandelt sich das in der ersten Stellung bestehende abductorische Moment (Tabelle Nr. IV) durch die neue Lage in ein adductorisches von ziemlich der gleichen Grösse, so dass wir also die Angabe *Bichat's*, der Subscapularis sei „abaisseur“, bestätigen können. Dass der ganze Muskel für beide Ausgangsstellungen ein Rotator nach innen ist, bedarf kaum der Erwähnung; nur darauf mag aufmerksam gemacht werden, dass in der zweiten Ausgangsstellung der obere Theil des Muskels mehr als dreimal so sehr Flexor wie Rotator ist.

Auch diesen Rest seines für die erste Stellung so kräftigen rotatorischen Moments verdankt der oberste Theil des Subscapularis nur einem besondern Umstand. Es bildet nemlich in der Ausgangsstellung II der processus coracoideus eine Art Rolle, um die sich der obere Theil der Subscapularis-Sehne herumbiegt, so dass die Zugrichtung des Muskels sich bei weitem nicht so sehr geändert hat, als dies ohne jenen Knochenvorsprung der Fall sein müsste.

Auf eine Controle der Angaben in Tabelle IV und VIII am lebenden Menschen muss natürlich in Anbetracht der versteckten Lage des Muskels von vornherein verzichtet werden.

Cap. longum tricipitis.

Betrachten wir zunächst die Wirkung dieses Muskels auf das Schultergelenk. Nach den Angaben *Winslow's* und *Bichat's* besteht dieselbe vorzugsweise in Extension des Humerus; ausserdem (B.) soll er das Gelenk fixiren und einer Luxation des Oberarmbeines während einer Contraction des Deltoideus vorbeugen. Nur nebenbei findet sich bei *Bichat* die Bemerkung, dass er den Axillarrand der Scapula dem Oberarmbein zu nähern vermöge, wenn der Unterarm fixirt und der Oberarm gebeugt sei. Erst *Duchenne* hat deutlich erkannt, dass dieser Muskel hauptsächlich bei Adductionsbewegungen des Humerus mitzuwirken habe.

Freilich dürfte aber doch noch die Ansicht *Duchenne's* in etwas zu prüfen sein. Er sagt nämlich ausdrücklich, dass dieser Muskel sich bei der Abduction des Humerus contrahire, *nicht um diese Bewegung hervorzubringen, sondern als fixateur des Schultergelenkes.* Laut unseren Tabellen hat nun der Triceps in beiden Lagen des Humerus (senkrecht herabhängend und um 60^0 abducirt) ein extensorisches und ein etwa dreimal grösseres adductorisches Moment. Unzweifelhaft wird er also mit dem ungleich grösseren Erfolg bei Adductionsbewegungen des Oberarmes in Erregung versetzt werden. Dass aber der Erfolg seiner Contraction nicht blos Fixation des Schultergelenks, sondern auch eine wirkliche Bewegung des Humerus ist, dafür bürgt eben der Umstand, dass der Muskel bei einer Adductionsbewegung des Knochens seine Länge verkürzen kann. Es dürfte überhaupt vielleicht nicht ganz richtig sein, nach Muskeln zu suchen, die ausschliesslich der Gelenkbefestigung zu lieb vorhanden sind, da ja alle Muskeln je nach der Lage und Bewegungsrichtung des Oberarmes diesen Dienst zu leisten vermögen. Um unsere Angabe, dass der Triceps auch ein extensorisches Moment auf das Schultergelenk besitzt, durch den Versuch am Lebenden bestätigen zu können, braucht man sich nur mit dem Rücken an eine Wand zu stellen und mit dem Ellenbogen gegen dieselbe anzudrücken. Man hat dann eine reine Extension des Humerus beabsichtigt und findet auf diese Weise Gelegenheit, eine deutliche Contraction des Triceps zu fühlen. Um sicher zu sein, dass die Contraction nicht etwa einer Streckung des Vorderarmes gegolten habe, wiederhole man denselben Versuch noch einmal bei rechtwinklig gebeugtem Vorderarm. Man fühlt auch jetzt wieder

den langen Tricepskopf sich lebhaft spannen, während die beiden kurzen Köpfe wie bisher in Ruhe bleiben. Wir können desshalb und namentlich auch wegen der Zahlen für das m_{ext} des langen Triceps (in der I. Stellung ist $m_{ext} = 8$ und in der II. gleich 12) *Duchenne* auch darin nicht beipflichten, wenn er den Humerus durch die Wirkung des triceps *schief nach innen und ein wenig nach hinten* gestellt werden lässt. Denn ein merkliches rotatorisches Moment hat sich bei unserer Untersuchung überhaupt nicht ergeben; jedenfalls ist es ungleich geringer wie das extensorische, was ja auch bei der Lage des Muskels, die der Rotations(y)-axe fast parallel ist, gar nicht anders erwartet werden kann.

Was die Wirkung des langen Triceps auf den Vorderarm angeht, so kann natürlich nur das quantitative derselben fraglich sein.

Ein hinlänglich anschauliches Bild davon giebt die Tabelle Nr. XIII. Man ersieht aus derselben ohne weiteres, dass das Moment für alle Lagen des Vorderarmes ziemlich gleich gross ist, da die Zahlen nur zwischen 24 und 16 schwanken. Ausserdem ergibt sich durch Vergleich dieser Zahlen mit den Tabellen IV und VIII, dass der Humerus vom langen Triceps mit ebensoviel oder mehr Kraft adducirt wird, als der Vorderarm extendirt. Berücksichtigt man ausserdem noch die in Tabelle Nr. XI verzeichnete Angabe, dass das cap. long. tricip. sich durch eine gewisse Bewegung des Humerus im Schultergelenk um 68 mm. verkürzen liess, während am Ellenbogen desselben Präparates nur 43 mm. (siehe Tabelle Nr. XII) Verkürzung möglich waren, so ist der Schluss gewiss nicht voreilig, dass der Muskel am Schultergelenk mehr Arbeit zu leisten vermag, als am Ellenbogengelenk. *Duchenne* ist auf seinem Weg des Experimentirens zu demselben Resultat gekommen. Wir betrachten dies als eine sehr wesentliche Stütze unserer Ansicht, wenn wir auch den *Duchenne*'schen Argumenten nicht die Beweiskraft einräumen möchten, die sie in den Augen jenes Anatomen hatten. *Duchenne* fand nemlich beim Tetanisiren des langen Tricepskopfes, dass derselbe die Streckung des Unterarmes viel schwächer ausführe als jeder der beiden kurzen Köpfe und zog hieraus den Schluss, dass der lange Kopf für das Ellenbogengelenk keine besonders wichtige Bedeutung hätte. Es scheint nun aber doch ungereimt, anzunehmen, dass der lange Kopf, abgesehen von einem etwa geringeren Querschnitt, mit weniger Kraft auf den Vorderarm

wirken solle, wie jeder der ganz gleich gerichteten kurzen Köpfe, vorausgesetzt natürlich, dass bei dem Tetanisiren des ersteren nicht der grösste Theil der Spannung durch eine Verschiebung der Scapula am Humerus aufgebraucht wird. Wie aus der Schilderung *Duchenne*'s hervorzugehen scheint, hat er für Fixirung des Schulterblattes bei seinen diesbezüglichen Versuchen keinerlei Sorge getragen, so dass also in der That seine Angabe, um beweisend zu sein, eines Controlversuches dringend bedürftig ist. Der Schluss, den er aus seinem Experiment zog, dass der lange Tricepskopf am Schultergelenk mehr Arbeit leisten könne als am Ellenbogengelenk, braucht aber desshalb doch nicht falsch zu sein und ist es nach unsern Versuchen auch wirklich nicht.

Es wäre nun noch die Frage zu erledigen, wie sich der lange Tricepskopf benimmt, wenn gleichzeitig eine Beugung des Humerus und Streckung des Unterarmes ausgeführt, also der Muskel am einen Gelenk verkürzt und gleichzeitig am andern verlängert werden soll. Eine derartige Bewegung kann man etwa auf folgende Weise ausführen. Man stellt sich mit dem Gesicht gerade vor eine Wand, beugt den einen Vorderarm so stark, dass er mit seinem Oberarm etwa einen Winkel von 70^0 bildet. Nun legt man die Hand dieses Armes flach gegen die Wand und sucht die Masse seines eigenen Körpers von der Wand abzudrängen. Man erreicht dies durch Verlängern des zusammengebogenen Armes, also durch Extension des Unterarmes und gleichzeitige Flexion des Oberarmes. Betastet man während dieser Bewegung mit der andern, freien Hand den langen Tricepskopf, so wird man sich bald überzeugen, dass derselbe schlaff bleibt, während die beiden kurzen Köpfe sich fest contrahiren. Drückt man andererseits mit dem Ulnarrand der Faust gerade nach unten auf einen Tisch, so ziehen sich alle drei Köpfe zusammen; jetzt hat man nemlich gleichzeitig den Humerus und Unterarm zu extendiren gesucht. Endlich contrahirt sich, wie wir oben sahen, bei einer Adductionsbewegung des Oberarmes der lange Kopf allein und die beiden kurzen bleiben in Ruhe, vorausgesetzt natürlich, dass mit dem Vorderarm keine Bewegung beabsichtigt ist. Es geht hieraus mit voller Sicherheit hervor, dass der lange Tricepskopf sich völlig unabhängig von den beiden kurzen contrahiren kann, und ebenso die beiden kurzen Köpfe ohne jenen. Ferner deuten diese leicht ausführbaren Versuche darauf hin, dass der lange Triceps sich nur con-

trahirt, wenn es gilt, an *einem* Gelenk eine Bewegung zu erzielen, oder aber wenn solche Bewegungen in beiden Gelenken gleichzeitig ausgeführt werden, die sowohl am einen wie am andern Gelenk eine Verkürzung des Muskels herbeiführen müssen. Noch verwickelter wie die Wirkung des langen Triceps ist diejenige des

Biceps.

Beginnen wir mit der Besprechung seines langen Kopfes und zwar zunächst mit dessen Fähigkeit, am Schultergelenk Arbeit zu leisten. Diese Fähigkeit wird von *Duchenne* und *Bichat*, wenn nicht ausdrücklich in Abrede gestellt, doch wenigstens nicht angeführt. *Bichat* sagt nemlich nur, es könne der (ganze) Biceps das Schulterblatt nach vorne führen [le biceps porte l' omoplate en devant]; was dies für eine Bewegung in Hinsicht auf die von uns gewählten Drehungsaxen sein würde, ist uns nicht recht klar geworden. *Duchenne* gibt an, bei der isolirten Reizung des Biceps zeige sich nicht die geringste Bewegung des Schulterblattes. *Winslow* dagegen, der offenbar manches beobachtet hat, was wieder ganz in Vergessenheit gerathen ist, erwähnt eine Wirkung des Biceps auf das Schultergelenk ausdrücklich und zwar erklärt er ihn für einen etwa im gleichen Sinne wirkenden Muskel wie der Coracobrachialis. Unseren Versuchen nach ist das nun freilich nicht ganz richtig. Vor allen Dingen ist der lange Kopf des Biceps von dem kurzen gesondert zu betrachten, da diese beiden Portionen am Schultergelenk nicht völlig gleichsinnig wirken, wie von jenen Autoren stillschweigend vorausgesetzt wird. Wie uns nämlich die Zahlen unserer Tabellen zeigen, besitzen zwar beide Köpfe des Biceps sowohl wie der Coracobr. ein flexorisches Moment auf den Humerus, und können insofern einsinnig wirken; aber während der Coracobr. und der kurze Bicepskopf ausserdem als Adductoren fungiren, ist der lange Bicepskopf ein Abductor und zwar ganz vorzugsweise ein Abductor; endlich ist er ein recht kräftiger Rotator nach innen, wenigstens ist dies letztere, das rotatorische Moment, stärker als das flexorische. Es besteht also ein sehr wesentlicher Unterschied in der Wirkungsweise der beiden Köpfe auf das Schultergelenk. Denn wie man in Tab. IV Nr. 2 und Nr. 20 sieht, ist der kurze Kopf vorzugsweise Flexor, ausserdem Adductor und wenig oder gar kein Rotator. Der auffallende Un-

terschied in den sich entsprechenden Zahlen der zweiten und der zwanzigsten Reihe von Tabelle IV wurde oben schon besprochen. Der Leser, der diese Angaben vielleicht mit einigem Misstrauen aufnimmt, kann sich von ihrer Richtigkeit wenigstens theilweise an seinem eignen Körper überzeugen.

Er führe bei gestrecktem Unterarm eine möglichst reine Beugebewegung des Humerus gegen einigen Widerstand aus, so wird er durch Betasten der beiden Bicepsköpfe und des Coracobrachialis mit der andern Hand ihre lebhafte Thätigkeit bemerken. Nun mache er in der oben angegebenen Weise eine Anstrengung, möglichst rein zu adduciren, und er wird sofort gewahr werden, dass der lange Bicepskopf schlaff, die beiden anderen Muskeln dagegen gespannt sind. Endlich versuche er auch eine Abductionsbewegung und er wird nicht umhin können einzugestehen, dass jetzt die äussere Hälfte der Bicepsmasse gespannt und die innere in Ruhe ist.

Wer sich von diesen Thatsachen einmal überzeugt hat, der wird es nun auch ganz natürlich finden, dass durch Abduction des Humerus das adductorische Moment des kurzen Biceps mehr und mehr abnehmen und sich schliesslich, nachdem die Verbindungslinie zwischen Ursprung und Ansatz oberhalb des Drehpunktes zu liegen gekommen ist, in ein abductorisches verwandeln muss. Wie aus Tabelle VIII ersichtlich ist, genügt schon eine Abduction von 60 ^{0} ja von 50 ^{0}, um diese Veränderung der Wirkungsweise herbeizuführen.

Am lebenden Menschen sich von der Richtigkeit der Zahlangaben über das Rotationsmoment des langen Biceps zu überzeugen, ist nicht gerade leicht, gelingt aber auch, wenn man nur die Vorsicht braucht, Flexionsbewegungen des Vorderarmes dadurch auszuschliessen, dass man ihn unterstützt und etwa zum Ueberfluss noch ein wenig gegen die unterstützende Tischplatte andrückt, also eine Extension des Vorderarmes hervorzubringen sucht. Uebrigens findet sich in Tabelle Nr. X die Angabe, dass bei maximalen Rotationen des Humerus das cap. long. bicipitis sich um 21 mm. verkürzen kann. Diese Zahl ist doch sicherlich zu gross, um aus einem Beochtungsfehler erklärbar zu sein. Um so leichter aber kann man sich davon überzeugen, dass der in Stellung I adductorisch wirkende kurze Bicepskopf durch hinlängliche Erhebung des Armes zum Abductor wird und als solcher auch wirklich in Thätigkeit tritt. Es ist hierzu aller-

dings vortheilhaft, den Arm etwa um 45^0 über die horizontale Abductionsstellung zu erheben, da man bei einer geringeren Erhebung den Humerus nicht genügend von der *Scapula* abducirt, sondern diese letztere unwillkürlich mitbewegt. Es ist eben allzuhäufig vergessen worden, dass man selbst kleine Bewegungen des Oberarmes selten rein im Schultergelenk ausführt, sondern fast immer mit Drehungen der Scapula verbindet. Es waltet hier ganz dasselbe Verhältniss ob, wie zwischen den Bewegungen des Auges und denen des Kopfes. Niemals wird Jemand, der einen seitwärts gelegenen Gegenstand in's Auge fassen will, erst die Augäpfel so weit seitwärts drehen als dies möglich ist und dann das fehlende Stück durch eine Drehung des Kopfes ersetzen; sondern stets combinirt man auf eine höchst zweckmässige Weise die Bewegung des Auges und die des Kopfes, gerade so wie hier die des Schulterblattes und die des Humerus. Hat man nun den Arm genügend erhoben und drückt, etwa in einer hinlänglich niedrigen Thüre stehend mit dem Unterarm gegen den oberen Querbalken der Thüre, als ob man die Abduction noch weiter treiben wollte, so fühlt man deutlich, dass jetzt beide Bicepsköpfe straff gespannt sind und dass sie erschlaffen, sowie man in seinen fruchtlosen Bemühungen nachlässt.

Gehen wir zur Betrachtung des Biceps hinsichtlich seiner Wirkungen auf die Vorderarmknochen über, so springt vor allen Dingen in die Augen, dass er ein mächtiger Beuger des Radius und also mittelbar des ganzen Vorderarmes ist. Um ein Bild davon zu bekommen, ob und wie sich das flexorische Moment der beiden Muskelköpfe durch Unterschiede in der Stellung der Knochen verändert, brauchen wir nur die Tab. XIV anzusehen.

Zu ihrem Verständniss braucht wohl nach dem oben auseinandergesetzten nichts mehr hinzugefügt zu werden. Die flüchtigste Betrachtung dieser Tabelle zeigt schon, dass die beiden Muskelköpfe, die auf das Schultergelenk in ganz verschiedener Weise wirken, bezüglich des Ellenbogengelenks sich gleich oder wenigstens fast ganz gleich verhalten; denn bis zur Winkelstellung von 80^0 stimmen die Verkürzungen für je 10^0 Beugung für beide Köpfe fast genau überein und weichen auch bei noch weiterer Beugung nicht viel von einander ab. Es ist nur ein unbedeutender Unterschied zu Gunsten des kurzen Kopfes wahrzunehmen. Ferner wird durch diese Tabelle ersichtlich, dass das flexorische Moment des langen Kopfes auf den Unterarm

für jede beliebige Winkelstellung grösser ist, als sein Moment für Beugung des Humerus. Für das cap. breve ist dieser Unterschied nicht so gross, fällt aber doch im ganzen noch merklich zu Gunsten des Ellenbogengelenkes aus. Man darf hieraus wohl schliessen, dass beide Muskeln ihre Hauptaufgaben am Ellenbogengelenk zu lösen finden, jedoch keineswegs in dem Maasse, wie dies nach der gröblichen Anschauung der Fall ist, die eine Wirkung am Schultergelenk völlig übersieht. Diese Ansicht wird bestätigt durch die Messungen der möglichen Gesammtverkürzungen am einen und am andern Gelenk. Unsere Versuche ergaben nämlich, (siehe Tabelle XII) dass sich das cap. long. um 82 mm., das cap. breve um 81 mm. verkürzen kann, wenn der Unterarm aus der maximalen Streckung in die grösstmögliche Beugung übergeht; am Schultergelenk dagegen liess sich (Tabelle Nr. XI) für das cap. breve eine Verkürzung von 64 mm. und für das cap. longum nur von 40 mm. erzielen, wenn man Bewegungen um die möglichst günstig gelegene Axe ausführte; es kann demnach der lange Kopf am Schultergelenk $^3/_4$ und der kurze wenigstens $^1/_2$ der Arbeit leisten, deren sie bezüglich am Ellenbogengelenk fähig sind.

Es erübrigt nun noch, den Einfluss dieser beiden Muskeln auf die Supination zu untersuchen. Schon *Winlow*, später *Bichat* und in neuerer Zeit *Duchenne* haben die supinirende Wirkung des Biceps gekannt und des ausführlichsten (*Winslow* u. *Duchenne*) beschrieben. Es bedarf desshalb fast einer Entschuldigung, hierüber noch Worte zu verlieren und man findet sie wohl in dem Umstand, dass in der vorliegenden Arbeit ausschliesslich quantitative Messungen bereits grossentheils gekannter Vorgänge beabsichtigt waren.

Auf Seite 9 findet sich eine Tabelle, welche das hierüber vorhandene Versuchsmaterial darstellt. Freilich bekommen wir durch dieselbe leider nur ein Bild von der supinirenden Wirkung des cap. breve, da nur dieser Kopf und zwar an einem der ersten Präparate den Messungen unterworfen wurde. Bei dem letzten Präparate, das zur Untersuchung der Bicepswirkungen auf Schulter und Ellenbogen benützt ist, hatten wir nämlich versäumt, dafür Sorge zu tragen, dass das untere Gelenk zwischen Radius und Ulna frisch und beweglich bleibe; es liessen sich daher schliesslich die Pro- und Supinationsbewegungen nicht leicht und rein genug ausführen, um zuverlässige Messungen

machen zu können. An dieser Tabelle fällt nun vor allem anderen auf, dass die Verkürzungen für je 10° Drehung so ausserordentlich klein sind im Vergleich zu denen, die sich in der Flexionstabelle finden. Es könnte daraus der Schluss gezogen werden, dass die Supinationswirkung des Biceps doch nicht viel zu bedeuten habe. Dem ist entgegenzuhalten, dass man zur Beurtheilung dieser Frage nicht das Supinationsmoment des Biceps mit seinem Flexionsmoment, sondern mit dem Supinationsmoment anderer Supinatoren zu vergleichen hat. Der wirksamste von diesen ist ohne Zweifel der supinator brevis mit einer zu diesem Zweck unstreitig günstigeren Lagerung. Aber wenn auch sein Moment zehn Mal grösser ist, als das des Biceps, so kann desshalb der letztere doch immer noch mehr Kraft entwickeln, da der Querschnitt des Biceps sicherlich mehr als zehn Mal so gross ist als der seines Rivalen. Obendrein ist das Moment des supinator brevis in dieser Rechnung wohl noch zu hoch angeschlagen; denn auch er arbeitet an einem ganz kurzen Hebelarm. Uebrigens findet sich schon in dem vorzüglichen Lehrbuch von *Winslow* die Angabe, dass jeder am eignen Arm sich von der Supinationsfähigkeit des Biceps überzeugen könne. Besonders dürfte sich hierzu das Bohren eignen, eine Bewegung, bei der das abwechselnde An- und Abschwellen des Biceps jeden Zweifel unmöglich macht.

Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dass bei rechtwinklig auf den Humerus gebeugtem Vorderarm das supinirende Moment beider Bicepsköpfe bedeutend grösser ist als bei gestreckter Lage des Vorderarmes. Ja selbst bei maximal gebeugtem Unterarm ist die durch Supination mögliche Totalverkürzung (siehe Tabelle XII) noch beträchtlich grösser als bei gestrecktem. Man dürfte daher wohl erwarten, dass sich bei rechtwinklig gebeugtem Unterarm am kräftigsten bohren liesse. Dieser Vermuthung tritt aber das Bedenken entgegen, dass durch die Beugung eine Entspannung des Biceps stattfinden muss, so dass bei aller Anstrengung sich nicht mehr eine so grosse Spannung erzielen lässt, als dies bei gestrecktem Unterarm, also bei gedehntem Biceps möglich ist. Man müsste die durch Beugung des Vorderarmes entstandene Verkürzung des Biceps dadurch wieder ausgleichen, dass man den Humerus im Schultergelenk extendirte und abducirte. Jetzt liesse sich eine sehr grosse Anfangsspannung mit der statisch möglichst günstigen Lage des uns desshalb hier darauf, eine interessante wenn auch vielleicht

Muskels für Supination vereinigen. Wirklich sieht man auch, dass Leute, die mit grosser Anstrengung bohren, unwillkürlich ihren Oberarm abduciren und etwas extendiren.

Ueberblickt man die Versuche am Lebenden, so bemerkt man, dass die einzelnen Köpfe des Biceps physiologisch verschiedene Individuen sind, die ganz unabhängig von einander in Thätigkeit gesetzt werden können und zwar eben sowohl, wenn es gilt, am Schultergelenk Arbeit zu leisten, als wenn der Vorderarm bezw. Radius bewegt werden soll. Man könnte nun noch die Frage aufwerfen, wie verhält sich der Biceps oder richtiger, wie verhalten sich die Bicepsköpfe, wenn gleichzeitig Bewegungen im Schulter- und Ellenbogengelenk ausgeführt werden.

Die Antwort hierauf liefern einige wenige Versuche. Führt man gleichzeitig eine Beugung des Vorderarmes mit einer Beugung des Humerus aus, so contrahiren sich, wie nicht anders zu erwarten, beide Bicepsköpfe, da sie sich ja an beiden Gelenken verkürzen können. Handelt es sich aber um eine Beugung des Unterarmes mit Streckung des Humerus, so liegt die Sache viel weniger einfach. Wird z. B. der ganze Arm horizontal gerade nach vorne gestreckt, so befindet sich, der Vorderarm maximal gestreckt, der Humerus maximal gebeugt. Nähert man jetzt zwanglos die ausgestreckte Hand dem Schultergelenk derselben Seite, so führt man offenbar die eben genannte Bewegung aus, verkürzt also den Biceps am Ellenbogen und verlängert ihn am Schultergelenk. Trotzdem zeigt sich der Biceps während dieser Bewegung unzweifelhaft contrahirt. Die eben geschilderte Bewegung ist aber bei weitem nicht die einzige, bei welcher der Biceps sich gleichzeitig am einen Gelenk verkürzt und am andern verlängert. Man braucht nur daran zu denken, dass das cap. long. bicipitis Supinator des Radius und Rotator nach innen des Humerus ist, dass aber stets die Supination des Radius mit einer Rotation des Humerus nach aussen verbunden wird. Man braucht ferner nur daran zu denken, dass sehr energische Supinationen z. B. kräftige Bohrbewegungen immer mit Abduction des Humerus verbunden werden, dass also auch der kurze Bicepskopf, der bekanntlich adductorisch wirkt, im Ellbogengelenk verkürzt und am Schultergelenk gedehnt wird.

Es würde uns zu weit führen und von unserer eigentlichen Aufgabe ganz abbringen, wenn wir diese Erscheinungen einer ausführlichen Analyse unterwerfen wollten. Wir beschränken

nicht ganz neue Thatsache berührt zu haben und gehen nunmehr zum letzten der untersuchten Muskeln über.

Deltoideus.

Auch an diesem Muskel hat *Winslow* wieder einen Beweis seines Scharfblickes gegeben, indem er ihn vermöge seiner anatomischen Lage für einen Abductor (mittleres Stück) und für Adductor (vorderer und hinterer Randtheil) erklärt. Ausserdem sollen die vorderen Theile flexorisch, die hintern extensorisch wirken und *Bichat*, der offenbar den Angaben *Winslow's* nicht allzuviel Beachtung geschenkt hat, sagt in einer Beziehung, nemlich hinsichtlich der adductorischen Wirkung der clavicularen und spinalen Portion so ziemlich das Gegentheil. Nach seiner Auffassung sind nemlich diese beiden Grenzgebiete des Muskels Abductoren des herabhängenden und Adductoren des seitwärts erhobenen (abducirten) Armes. Dieser, wie sich bald zeigen wird, völlig unrichtigen Auffassung schliesst sich theilweise auch *Duchenne* an, indem er zwar die claviculare Portion für einen Abductor überhaupt erklärt, die spinale dagegen ganz wie *Bichat* beurtheilt. Natürlich kann hier nicht das höchst gründliche und ausführliche Capitel in allen Einzelnheiten besprochen werden, das *Duchenne* dem Deltoideus gewidmet hat. Wir beschränken uns desshalb darauf, einige Angaben zu besprechen, die mit unsern Versuchsergebnissen im Widerspruch stehen.

Auf Seite 116 seines Werkes sagt dieser Forscher, dass alle Theile unseres Muskel sich gleichzeitig zusammenziehen können, um eine Abductionsstellung des Humerus herbeizuführen. Uns ist es niemals gelungen, am Lebenden dies bestätigt zu sehen. Im Gegentheil, wir durften Bewegungen machen, wie wir wollten, immer blieb der eine oder andere Theil des Muskels in Ruhe. Wahrscheinlich hat *Duchenne* seinen Schluss gezogen aus einer gleichzeitigen Faradisation des Deltoideus, die natürlich eine Abduction des Humerus zur Folge haben musste. Dieser Schluss ist aber offenbar ungerechtfertigt, denn die Erhebung des Armes wird auch eintreten, wenn die spinale Portion nicht abductorisch oder gar etwas adductorisch wirkt.

Ferner schliesst *Duchenne* auf eine adductorische Wirkung der spinalen Deltoideusportion für den zur Waghalte erhobenen Arm aus dem Umstand, dass isolirte Reizung jener Portion den

wagrecht erhobenen Arm um 45° nach unten und ausserdem nach hinten führt. Auch dieser Schluss ist voreilig. Denn wenn das abductorische Moment (für jene Lage des Knochens) gleich Null oder wenigstens zu gering ist, um der Schwere des Armes das Gleichgewicht halten zu können, so tritt die Verkürzung der Muskelfasern durch Extension des herabsinkenden Humerus ein, auch wenn die dabei stattfindende Adduction für sich allein den Muskel etwas dehnen würde. Geht hieraus zur Genüge hervor, dass die Schlüsse *Duchenne's* nicht hinlänglich gestützt sind, so beweisen andererseits die Zahlen der Tabellen IV und VIII, dass jener Forscher auch zu einem falschen Resultat durch seine Schlüsse geführt worden ist. Stellen wir uns zunächst die Lage I, also den Oberarm senkrecht herabhängend vor. Die drei aufeinander senkrechten durch den Drehpunkt des Gelenkes gehenden Axen, um welche die Bewegungen des Humerus ausgeführt werden, müssen sämmtlich den Muskel schneiden, es müssen also unter allen Umständen flexorische, extensorische, abductorische und adductorische, rotatorisch nach innen und nach aussen wirkende Fasern vorhanden sein; denn es können doch nicht zwei Muskelfäden gleiche Wirkung haben, die auf verschiedenen Seiten der Drehaxe liegen. Da der Deltoideus mehr als die Hälfte der Gelenkkugel umhüllt, so ist überhaupt gar keine Axe denkbar, für die nicht einzelne Portionen des Deltoideus Antagonisten der andern wären. Dem entsprechend zeigte Tabelle IV, dass die claviculare Portion des Muskels Flexor ist, während die acromiale extensorisch wirkt und zwar mit anfangs zunehmender und hierauf wieder abnehmender Kraft, je nachdem der Ursprungspunkt des betreffenden Muskeltheiles der Flexions ebene näher oder entfernter gelegen ist. Noch mannigfaltiger gestaltet sich die Sache für Bewegungen um die Abductionsaxe. Diese schneidet den Muskel zweimal, vorn und hinten und demgemäss finden wir, dass die spinale Portion, sowie die am meisten medianwärts von der clavicula kommenden Fasern adductorisch und nur die übrigen abductorisch wirken. Wir finden also hierin die treffende Bestätigung dessen, was *Winslow* vor mehr als 150 Jahren schon gesehen und gesagt hat. Endlich ergibt sich aus der dritten Spalte, dass die claviculare Portion des Deltoideus nach innen und die acromiale nebst der spinalen nach aussen rotiren können. Lässt man jetzt den Humerus in die Stellung II (um 50° abducirt) übergehen, so beschreiben die Ansatzpunkte aller

Fasern um ihre Ursprünge Kreisbögen, dergestalt dass ein Theil der Fasern oder gar alle, die bisher medianwärts vom Drehpunkt gelegen haben, nunmehr jenseits (lateralwärts) desselben zu liegen kommen. Es muss also allgemein das abductorische Moment der Fasern zugenommen, beziehungsweise das adductorische abgenommen haben; damit ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass diese Abnahme bis zu Null oder noch weiter, bis zu einem abductorischen Moment gegangen sein kann. Wirklich zeigt auch die zweite Spalte der Tabelle VIII von dem bisher ausserordentlich grossen adductorischen Moment nur noch einen kleinen Rest im letzten Faden; an der clavicularen Portion ist es völlig in ein abductorisches übergegangen. Diese Reihenfolge von Momenten ist etwa durch eine Curve darstellbar, deren Ordinaten bei Faden Nr. I mit 14 beginnen, bis zu 24 und 34 steigen, hierauf wieder abnehmen, bei dem VI. Faden den Nullpunkt erreichen und beim VII. auf die andere Seite der Abscissenaxe, also in das negative gehen, mit andern Worten, das abductorische Moment ist hier noch ein adductorisches. Die Zahlen der ersten Spalte haben sich, wie nicht anders zu erwarten war, nur wenig geändert; dagegen sind die rotatorischen Momente, die ja ohnehin nicht sehr beträchtlich waren, bis auf ganz unbedeutende Spuren geschwunden, was gleichfalls unschwer verständlich ist; laufen doch in der neuen Lage alle Muskelfäden dem Humerus nahezu parallel oder schneiden wenigstens unter viel kleineren Winkeln die Rotationsaxe als in der ersten Stellung.

Es wäre nun zu ermitteln, ob jene Zahlangaben sich, wenigstens qualitativ, am lebenden Menschen bewahrheiten lassen. Unzweifelhaft ist es und von *Duchenne* auch schon ausdrücklich erwähnt, dass bei einer Flexion des Humerus die claviculare Deltoideusportion eine wichtige Rolle spielt und dass gleichzeitig alle übrigen Theile des Muskels in völliger Ruhe sind. Analog contrahirt sich die spinale Portion bei Streckung des Humerus und die vordere verharrt in Ruhe. Endlich bei kräftiger Abduction, und hierin weichen unsere Angaben von denen *Duchenne's* und *Bichat's* ab, wird nur die acromiale Portion gespannt und die spinale sowohl wie claviculare bleiben schlaff. Wer sich davon überzeugen will, braucht nur mit dem senkrecht herabhängenden Arm abducirend gegen eine Wand oder sonst einem fest-

stehenden Gegenstand zu drücken und gleichzeitig mit der freien Hand zuzufühlen; für die hintere Portion wird der Experimentator sofort ausser Zweifel sein, während er bei der vorderen vielleicht doch eine Contraction zu finden glauben wird. Sollte dies der Fall sein, so braucht er nur den Oberarm etwas einwärts zu rotiren und dann den Versuch noch einmal anzustellen; der erwartete Erfolg wird dann nicht mehr ausbleiben. Es darf eben niemals aus dem Auge gelassen werden, dass die Messungen in einer ganz bestimmten Lage des Humerus zur Scapula vorgenommen, also auch nur für diese giltig sind. Da es nun schwer sein wird, genau dieselbe Stellung im lebenden Menschen nachzuahmen, so darf man auch nicht erwarten, so ohne weiteres bis in die geringsten Einzelheiten jene Angaben am lebenden Menschen demonstriren zu können; man wird sich eben mit einer annähernden Uebereinstimmung zufrieden geben müssen. Viel leichter als von dem eben Gesagten kann man sich nun davon überzeugen, dass in abducirter Stellung des Oberarmes die claviculare Portion und ein Theil der spinalen zur Abduction mitwirken; man braucht eben nur mit hoch erhobenen Arm eine Abductionsbewegung gegen einen beträchtlichen Widerstand auszuführen. Ebenso schnell kommt man über die Adductionsfähigkeit der spinalen Portion ins Reine, dagegen hat es uns niemals gelingen wollen, bei der Bemühung, den hängenden Arm noch weiter zu adduciren, eine Contraction des clavicularen Deltoideus wahrzunehmen; auch bei Rotationen nach innen ist nicht immer eine Contraction des clavicularen Deltoideus zu fühlen. Um so deutlicher bemerkt man aber die Thätigkeit der spinalen Portion bei Rotationen nach aussen. Im Ganzen betrachtet ist also der Deltoideus ein Complex von Muskeln, die sich in verschiedenen Zusammensetzungen in ihrer Action unterstützen und ausserdem je nach der Lage der Knochen zu einander functionell verschiedene Bedeutung haben.

Ein Blick in die vergleichende Anatomie bestätigt die von *Duchenne* zuerst ausgesprochene Auffassung des Deltoideus als Summe dreier verschiedener Muskeln vollkommen. Während die Mehrzahl der menschlichen Muskeln sich bei den Säugethieren, Reptilien und sogar bei den Amphibien ohne weiteres wieder erkennen lassen, hat die Frage nach dem Homologon des menschlichen Deltoideus stets zu sehr verschiedenen Antworten geführt, weil der eine Anatom zwei, ein anderer drei, wieder ein anderer

zwei andere Muskeln als dem menschlichen Deltoideus entsprechend aufgefasst wissen wollte. Die herrschende Meinung scheint nun im Ganzen die zu sein dass bei den Säugethieren der menschliche Deltoideus durch drei verschiedene Muskeln vertreten wird, und zwar geht der hinterste der drei Individuen von der spina scapulae zum Oberarm; der zweite entspringt vom Acromion und der dritte, der menschlichen Clavicularportion homolog, von einigen Halswirbeln, also ganz so, wie *Duchenne* den Deltoideus beim Menschen zerlegt wissen will. Nach unseren Untersuchungen müssen wir nun noch einen Schritt weiter gehen wie *Duchenne*; denn es lässt sich sehr leicht zeigen, dass auch innerhalb dieser drei Abtheilungen noch Muskeltheile unabhängig von einander contrahirt werden können. Sehr schön kann man sich dies am Lebenden demonstriren, wenn man den Deltoideus eines Menschen unter den Fingern hat, der eben im Begriff ist, einen Stein zu schleudern. Er führt zunächst seinen Arm in eine Stellung, die aus Extension, Adduction und Rotation nach aussen zusammengesetzt ist; dann beginnt er zu abduciren, zu flectiren und nach innen zu rotiren und setzt diese Bewegungen fort, bis die Erregungswelle von den zuerst contrahirten hintersten Bündeln über den acromialen Theil continuirlich bis zum vordersten verlaufen ist.

Der Leser wird sich noch daran erinnern, dass bei der Besprechung des Infraspinatus auf den Deltoideus verwiesen wurde, weil jener Muskel zu ungünstig gelagert ist, um ihn vollkommen sicher am Lebenden beobachten zu können. Es kann nun nach dem eben Gesagten kein Zweifel mehr sein, dass die dort einstweilen aufgestellten Behauptungen von der verschiedenen Wirkungsweise verschiedener Theile eines Flächenmuskels hinlänglich bewiesen worden ist.

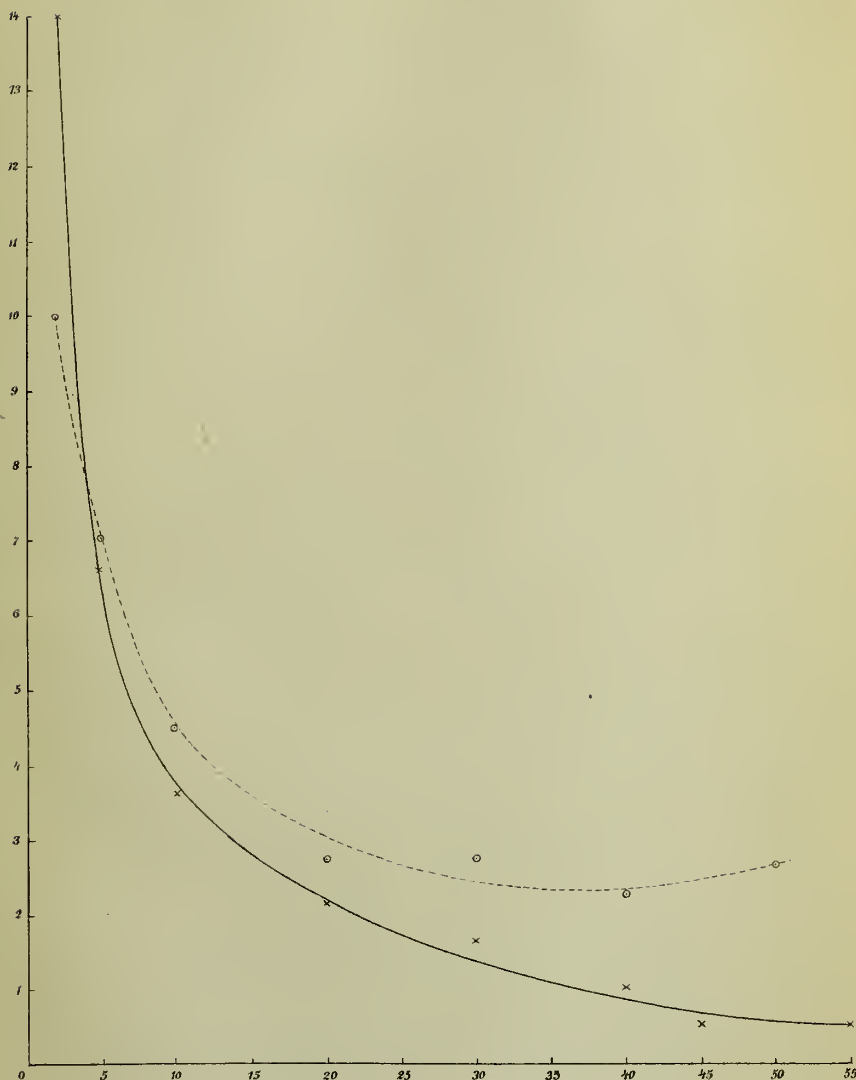
Zum Schluss dieser Arbeit mag es verstattet sein, einige allgemeine Sätze auszusprechen, die sich besonders bei den gelegentlichen Versuchen am Lebenden aufgedrängt haben und unseres Wissens bis jetzt noch nirgends mit aller Deutlichkeit und Bestimmtheit ausgesprochen, sondern vielmehr von einem Forscher stillschweigend vorausgesetzt und von anderen stillschweigend in Abrede gestellt worden sind.

1. Was die Anatomie als einen Muskel zu bezeichnen und demgemäss mit einem individuellen Namen zu bedenken pflegt, kann im *physiologischen* Sinne nicht als Einheit betrachtet werden. Denn

die Fasern eines solchen Gebildes werden keineswegs stets gleichzeitig und gleich stark in Erregung versetzt. Vielmehr werden die einzelnen Theile eines Muskels unabhängig von einander contrahirt, was bei der grossen Anzahl von Nervenfasern, mit denen jeder Muskel versehen ist, durchaus im Bereich der Möglichkeit liegt.

2. Es scheinen zur Ausführung einer Drehung um eine bestimmte Axe alle diejenigen Muskeln, welche ein positives Moment für die Drehung des Knochens in diesem Sinne haben, immer zusammenzuwirken, ohne Rücksicht darauf, ob sie ihren Hauptmomenten nach Antagonisten oder Genossen sind. Diese Einrichtung führt mehrere wichtige Vortheile mit sich. Einmal ist es nämlich dadurch ermöglicht, eine jede Bewegung mit ungleich grösserer Kraft auszuführen, als wenn (was nebenbei practisch unmöglich) für jede Bewegung ein Muskel ausschliesslich wirksam wäre. Und dann ist hierdurch den Gelenken eine Festigkeit gegeben, die mit der wachsenden Gefahr, d. h. mit der wachsenden Spannung der Muskeln selbst zunimmt. Im andern, bloss gedachten Falle müsste das Gelenk durch Bänder geschützt sein, die schon von vorneherein für die maximalsten Muskelzüge berechnet wären. Natürlich wäre dies ohne sehr grosse Bandmassen gar nicht herzustellen und würde obendrein die feineren Bewegungen des Gliedes durch den grossen Widerstand sehr beeinträchtigen.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE



Zu Fick's Arbeiten

BRITISH MEDICAL Library ASSOCIATION

Taf. XVI.

Fig. I.

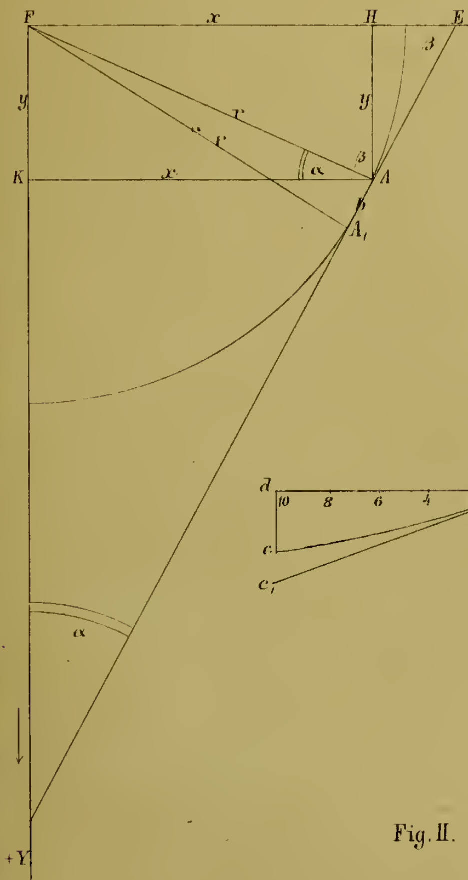


Fig. III.

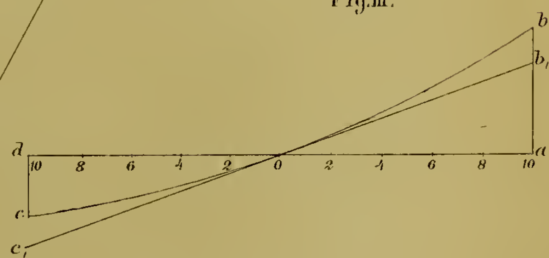
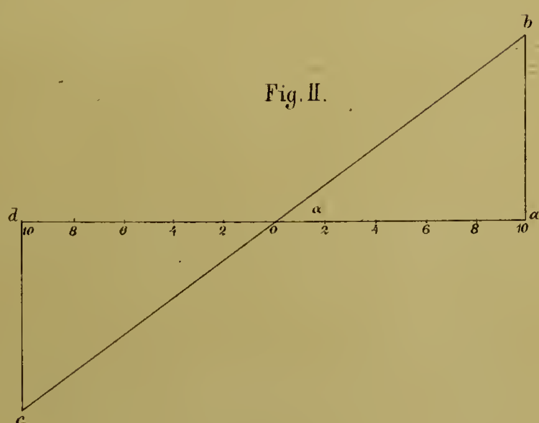


Fig. II.



Lith. J. A. Hofmann, Würzburg.

Library